

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

APORTACIÓN DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA A LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) DE UN EDIFICIO RESIDENCIAL EN MURCIA

Julio 2012



Autor: Álvaro Roig Díaz

Tutor: Pedro A. Rodríguez Aumente

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Cláusula de salvaguarda:

Este Trabajo Fin de Grado tiene un propósito exclusivamente académico, que se concreta en probar la capacidad de su autor para hacer aplicación y síntesis de los conceptos y técnicas aprendidos durante la realización de los estudios tendentes a la obtención del Título de Graduado en Ingeniería Mecánica de acuerdo a los requisitos de la UC3M. Por dicho motivo, no se autoriza su utilización por personal ajeno a la realización del mismo, no haciéndose ni su autor ni su director o tutor, responsables de los daños y perjuicios directos o indirectos que pudiera ocasionar la aplicación de los conceptos, técnicas, metodologías y/o resultados en él contenidos.

Agradecimientos

Quisiera dar las gracias en primer lugar a mi familia por todo el apoyo que me han dado siempre, por su confianza y por darme esos ánimos en los momentos decisivos.

También quiero dar las gracias a Aarón, Jonás y David por estar siempre ahí, por esos viajes que hemos hecho en estos años y por todos los momentos vividos que han sido únicos y que espero que continúen.

A María por escucharme siempre cuando más lo necesitaba y por aguantarme en los momentos de bajón, por apoyarme en todo y darme ánimos siempre creyendo más en mí que yo mismo y por sacarme esa sonrisa cuando más lo necesito, gracias.

Y como no, a mis compañeros de la uni, los mejores sin duda.

A mi tutor por toda su ayuda y por atenderme en cualquier momento para resolver las dudas.

Y por último quiero dedicar toda la carrera a Álvaro, el Rubio, que por el no he abandonado la carrera en numerosas ocasiones. ¡Esto va por ti amigo! Descansa en paz.

Índice

1. OBJETIVO.....	11
2. INTRODUCCIÓN	12
2.1. EL SOL Y LA RADIACIÓN SOLAR	13
2.2. USOS DE LA RADIACIÓN SOLAR	15
2.3. INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA.	16
3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.....	20
4. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	25
4.1. DATOS GEOGRÁFICOS	25
4.2. DATOS CLIMATOLÓGICOS.....	26
4.2.1. Horas de sol.....	26
4.2.2. Radiación solar.....	27
4.2.3. Temperatura media solar y temperatura del agua de red.....	34
4.3. CONSUMO DE ACS	35
4.4. DEMANDA ENERGÉTICA DE ACS	39
4.5. CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN.....	40
4.5.1. Circuito primario.....	41
4.5.1.1. Captador solar.....	41
4.5.1.2. Fluido caloportador.....	45
4.5.1.3. Calculo del área de captadores	56
4.5.1.4. Fracción solar mensual	60
4.5.1.5. Conexionado de los captadores	65
4.5.1.6. Calculo de sombras	67
4.5.1.7. Tuberías.....	69
4.5.1.8. Intercambiador de calor	77
4.5.1.9. Bomba de circulación	83
4.5.1.10. Vasos de expansión	88

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

4.5.2.	<i>Circuito secundario</i>	91
4.5.2.1.	Sistema de acumulación	91
4.5.2.2.	Tuberías	95
4.5.2.3.	Bomba de circulación	96
4.5.3.	<i>Circuito terciario o de distribución</i>	98
4.5.3.1.	Sistema auxiliar	98
4.5.3.1.1.	Interacumulador	98
4.5.3.1.2.	Caldera	102
4.6.	SISTEMAS DE CONTROL	103
5.	MANTENIMIENTO	105
6.	ESTUDIO AMBIENTAL	108
7.	ESTUDIO ECONÓMICO	112
8.	CONCLUSIONES	118
9.	BIBLIOGRAFÍA	119
10.	ANEXOS	120

Índice de figuras

FIGURA 1. ESQUEMA DE UNA MICRORRED [10]	13
FIGURA 2. LA ATMÓSFERA TERRESTRE Y SUS PRINCIPALES ACCIONES SOBRE LA RADIACIÓN SOLAR [8]	14
FIGURA 3. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR: DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA [8]	15
FIGURA 4. ESQUEMA BÁSICO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN DE ACS [17] .	17
FIGURA 5. MAPA DE ESPAÑA DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS [1]	25
FIGURA 6. GRÁFICO COMPARATIVO DE LAS HORAS SOLARES	27
FIGURA 7. INTERPRETACIÓN GRÁFICA DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA [9]	28
FIGURA 8. GRÁFICA COMPARATIVA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA	32
FIGURA 9. GRÁFICA COMPARATIVA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA	35
FIGURA 10. VARIACIÓN MEDIA DEL CONSUMO MENSUAL EN VIVIENDAS [6]	37
FIGURA 11. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN [17]	40
FIGURA 12. ELEMENTOS DE LA CARCASA [4]	42
FIGURA 13. CAPTADOR THERMITAL TSOL 25 [11]	44
FIGURA 14. CURVAS DE CONGELACIÓN DE DOS PREPARADOS COMERCIALES A BASE DE ETILENGLICOL Y PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN [9]	46
FIGURA 15. GRÁFICA DE LA DENSIDAD DEL PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN	47
FIGURA 16. GRÁFICA DEL CALOR ESPECÍFICO DEL PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN	47
FIGURA 17. GRÁFICA DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN	48
FIGURA 18. GRÁFICA DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA DEL PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN	48
FIGURA 19. GRÁFICA DEL NÚMERO DE PRANDTL DEL PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN	49
FIGURA 20. GRÁFICA DEL COEFICIENTE TÉRMICO DE EXPANSIÓN DEL PROPILENGLICOL EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ..	49
FIGURA 21. BALANCE DE ENERGÍA EN LOS CAPTADORES [17]	51
FIGURA 22. BALANCE DE ENERGÍA EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR [17]	52
FIGURA 23. BALANCE DE ENERGÍA PARA LA CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA [17]	54
FIGURA 24. BALANCE DE ENERGÍA EN EL ACUMULADOR [17]	54
FIGURA 25. GRADO DE ESTRATIFICACIÓN DEL ACUMULADOR [17]	55

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

FIGURA 26. DIAGRAMA DE TEMPERATURAS DEL ACUMULADOR [17].....	58
FIGURA 27. GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE LA INSTALACIÓN.....	63
FIGURA 28. CONFIGURACIÓN DE COLECTORES CON RETORNO INVERTIDO [10].....	65
FIGURA 29. CONFIGURACIÓN DE COLECTORES EN PARALELO [10].....	65
FIGURA 30. CONFIGURACIÓN DE COLECTORES EN SERIE [10].....	66
FIGURA 31. CONFIGURACIÓN DE COLECTORES EN SERIE-PARALELO [10].....	66
FIGURA 32. UBICACIÓN DE LOS COLECTORES EN LA AZOTEA	67
FIGURA 33. CHIMENEAS DE LA AZOTEA.....	67
FIGURA 34. ZOOM DE LAS CHIMENEAS DE LA AZOTEA	68
FIGURA 35. VÁLVULA DE SEGURIDAD [14]	74
FIGURA 36. PURGADOR MANUAL [14]	75
FIGURA 37. VÁLVULA ANTIRRETORNO [14]	75
FIGURA 38. VÁLVULA DE ESFERA [14]	76
FIGURA 39. VÁLVULA DE ASIENTO [14]	76
FIGURA 40. AISLAMIENTO DE LAS TUBERÍAS [16]	77
FIGURA 41. INTERCAMBIADOR DE CALOR M6 DE ALFA LAVAL [15]	80
FIGURA 42. PÉRDIDAS DE CARGA EN EL CAPTADOR [18].....	84
FIGURA 43. ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS DE COBRE ($D_{INT}=42\text{MM}$) [9].....	85
FIGURA 44. ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS DE COBRE ($D_{INT}=28\text{MM}$) [9]	86
FIGURA 45. ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS DE COBRE ($D_{INT}=28\text{MM}$) [9]	87
FIGURA 46. ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS DE COBRE ($D_{INT}=15\text{MM}$) [9]	87
FIGURA 47. BOMBA DE IMPULSIÓN GRUNDFOS TP 32-380/2 [12]	88
FIGURA 48. VASO DE EXPANSIÓN SALVADOR ESCODA 35 SMR-P [14]	91
FIGURA 49. ACUMULADOR SALVADOR ESCODA IMVV [14].....	95
FIGURA 50. ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS DE COBRE ($D_{INT}=42\text{MM}$).....	96
FIGURA 51. BOMBA DE IMPULSIÓN GRUNDFOS MAGNA 32-100 F [12]	97
FIGURA 52. VARIACIÓN DEL CAUDAL INSTANTÁNEO EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN UN DÍA LABORAL [6]	99

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

FIGURA 53. INTERACUMULADOR SALVADOR ESCODA IMV 2500 [14].....	102
FIGURA 54. CALDERA SAUNIER DUVAL THERMOSYSTEM CONDENS F240/3 [13].....	102
FIGURA 55. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS Y ESTADO DE LA BOMBA [9]	103
FIGURA 56. CENTRALITA RESOL DELTASOL BS/3 COOL [14].....	104
FIGURA 57. GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS EMISIONES DE CO ₂ EN EL EDIFICIO CON Y SIN LA INSTALACIÓN SOLAR.....	111
FIGURA 58. FLUJO DE CAJA.....	117

Índice de tablas

TABLA 1. NÚMERO DE PERSONAS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE DORMITORIOS [1]	20
TABLA 2. DATOS GEOGRÁFICOS DE MURCIA [2]	25
TABLA 3. HORAS DE SOL EN EL HEMISFERIO NORTE [3]	26
TABLA 4. HORAS DE SOL CALCULADAS ANALÍTICAMENTE	27
TABLA 5. IRRADIACIÓN DIARIA POR METRO CUADRADO DE SUPERFICIE HORIZONTAL [3]	32
TABLA 6. IRRADIACIÓN DIARIA POR METRO CUADRADO DE SUPERFICIE HORIZONTAL [5]	32
TABLA 7. IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA DE CADA TIPO DE RADIACIÓN	33
TABLA 8. IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA DE CADA MES	33
TABLA 9. IRRADIACIÓN DIARIA	34
TABLA 10. TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA DE CADA MES [3]	34
TABLA 11. TEMPERATURA AMBIENTE MEDIA DE CADA MES [5]	34
TABLA 12. TEMPERATURA MEDIA DE RED DE CADA MES [2]	35
TABLA 13. CAUDAL INSTANTÁNEO MÍNIMO PARA CADA TIPO DE APARATO [1]	36
TABLA 14. DEMANDA DE REFERENCIA A 60°C [1]	36
TABLA 15. CONSUMO MENSUAL DE ACS	38
TABLA 16. CONSUMO DE ACS	38
TABLA 17. DEMANDA ENERGÉTICA PARA ACS	39
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS DEL CAPTADOR	44
TABLA 19. CONDICIONES DE ENSAYO DEL CAPTADOR [18]	44
TABLA 20. PROPIEDADES DEL FLUIDO CALOPORTADOR AGUA-GLICOL	50
TABLA 21. ZONA CLIMÁTICA DE MURCIA [1]	53
TABLA 22. CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA [1]	53
TABLA 23. VALORES MEDIOS ANUALES DE LA INSTALACIÓN	56
TABLA 24. COEFICIENTES DE LA CURVA DE NORMALIZACIÓN DEL CAPTADOR SOLAR [18]	59
TABLA 25. TEMPERATURAS MENSUALES DE LA INSTALACIÓN	63
TABLA 26. FRACCIÓN SOLAR MENSUAL DE LA INSTALACIÓN	64

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

TABLA 27. RENDIMIENTO MENSUAL DE LA INSTALACIÓN	64
TABLA 28. PÉRDIDAS LÍMITE [1]	68
TABLA 29. MEDIDAS NORMALIZADAS DE TUBERÍAS DE COBRE, UNE-EN 1057:2007+A1	72
TABLA 30. LONGITUDES DE TUBERÍA EN EL CIRCUITO PRIMARIO	74
TABLA 31. CANTIDAD Y TIPO DE VÁLVULAS NECESARIAS	76
TABLA 32. ESPESORES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO [MM] DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS QUE TRANSPORTAN FLUIDOS CALIENTES QUE DISCURREN POR EL INTERIOR DE EDIFICIOS [7]	77
TABLA 33. CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS [15]	80
TABLA 34. PARÁMETROS C Y M	85
TABLA 35. CARACTERÍSTICAS DEL ACUMULADOR [14]	95
TABLA 36. CARACTERÍSTICAS DEL INTERACUMULADOR SALVADOR ESCODA IMV 2500 [14]	101
TABLA 37. VALORES TÍPICOS DE OPERACIÓN EN SISTEMAS DE CONTROL [10]	103
TABLA 38. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN	105
TABLA 39. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN	106
TABLA 40. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO	106
TABLA 41. MANTENIMIENTO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO	106
TABLA 42. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	106
TABLA 43. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR	107
TABLA 44. EMISIONES DE CO ₂ EN UNA INSTALACIÓN DE CALDERA	109
TABLA 45. kW·H QUE SE AHORRAN CON LA INSTALACIÓN TÉRMICA SOLAR	109
TABLA 46. CO ₂ QUE NO SE EMITE GRACIAS A LA INSTALACIÓN SOLAR	110
TABLA 47. CO ₂ QUE EMITE EL EDIFICIO CON LA INSTALACIÓN SOLAR INSTALADA	110
TABLA 48. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN	112
TABLA 49. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN (CONT.)	113
TABLA 50. TARIFA DE GAS NATURAL FENOSA [19]	113
TABLA 51. AHORRO ECONÓMICO MES A MES EN LA FACTURA DEL COMBUSTIBLE	114
TABLA 52. BENEFICIO DE LA INSTALACIÓN DURANTE SUS AÑOS DE VIDA	115

TABLA 53. FLUJO DE CAJA	117
-------------------------------	-----

1. OBJETIVO

El objetivo que se concierne en este proyecto es el de diseñar una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) en un edificio residencial multifamiliar cumpliendo las especificaciones establecidas por el código técnico de la edificación (CTE) en relación al ahorro de energía (HE) en la ciudad de Murcia.

Para ello se realizará un estudio energético teniendo en cuenta el consumo de agua caliente sanitaria en función de las características del edificio, de los datos climatológicos y de la temperatura del agua de red de la zona.

A partir de los datos obtenidos, se elegirá un campo de captadores capaz de aportar la fracción solar mínima de ACS al edificio y se procederá al cálculo y diseño de la instalación y de todos sus componentes.

Se tendrá en cuenta además que no es posible satisfacer el 100% de la demanda energética con el sistema de captación solar y por tanto se integrará un sistema de aporte auxiliar de calor, es decir, el sistema estará dotado también de una caldera de gas natural.

Tras el diseño de la instalación, se comprobará que esta cumple los requisitos del CTE y se realizará un estudio económico para realizar una valoración económica y una posible rentabilidad.

Por último se hará un estudio de impacto ambiental para estimar cuantas emisiones de CO₂ se evitan sobre la atmosfera.

2. INTRODUCCIÓN

Una de las características más importantes en el desarrollo de un país es la disponibilidad de recursos energéticos. A su vez, el desarrollo tecnológico es quien determina la utilización de ciertos tipos de energías estableciendo así la disponibilidad de un recurso. Por tanto, para la realización de cualquier actividad es necesario un aporte energético, ya sea este en forma de energía eléctrica, cinética, potencial, calorífica, etc. Así pues, la energía es un factor clave en el desarrollo de la sociedad y del el impacto ambiental.

Es por ello que, debido a esta dependencia del desarrollo de la sociedad con la energía y sabiendo que en el último siglo el avance tecnológico y demográfico ha sido desmesurado, podemos observar que el consumo energético mundial ha experimentado un importante aumento en el que las principales fuentes energéticas son las denominadas energías no renovables como el carbón, el petróleo, el gas natural, etc.

Estas energías se denominan fuentes de energía no renovables porque la creación de estas se realiza a un ritmo mucho más lento que su consumo y, en consecuencia, se puede decir que están almacenadas en cantidades inicialmente fijas, comúnmente en el subsuelo, de tal forma que, según pasa el tiempo, estas fuentes se van agotando.

Por este motivo, la investigación de las energías renovables está siendo un factor importante en el desarrollo actual de la sociedad. Se las denomina renovables porque las fuentes de las que se obtiene estas energías tienen una duración estimada en millones de años. Son consideradas energías renovables la energía solar, la eólica, la hidráulica, la geotérmica, la procedente de la biomasa y la del mar.

Existe la posibilidad de integrar uno o varios recursos renovables en lo que se denomina microrredes energéticas (*smart grids*). Se conoce como microrred a un conjunto de generadores y cargas que, operando bien como un sistema autónomo o bien conectado a la red, proporciona tanto energía eléctrica como térmica (calor y frío) de manera fiable. De esta manera se puede producir energía con una elevada eficiencia energética reduciendo así las emisiones de los gases de efecto invernadero. Además, utilizando una microrred, se mejora la calidad del suministro reduciendo también las pérdidas por transporte y distribución de la energía.

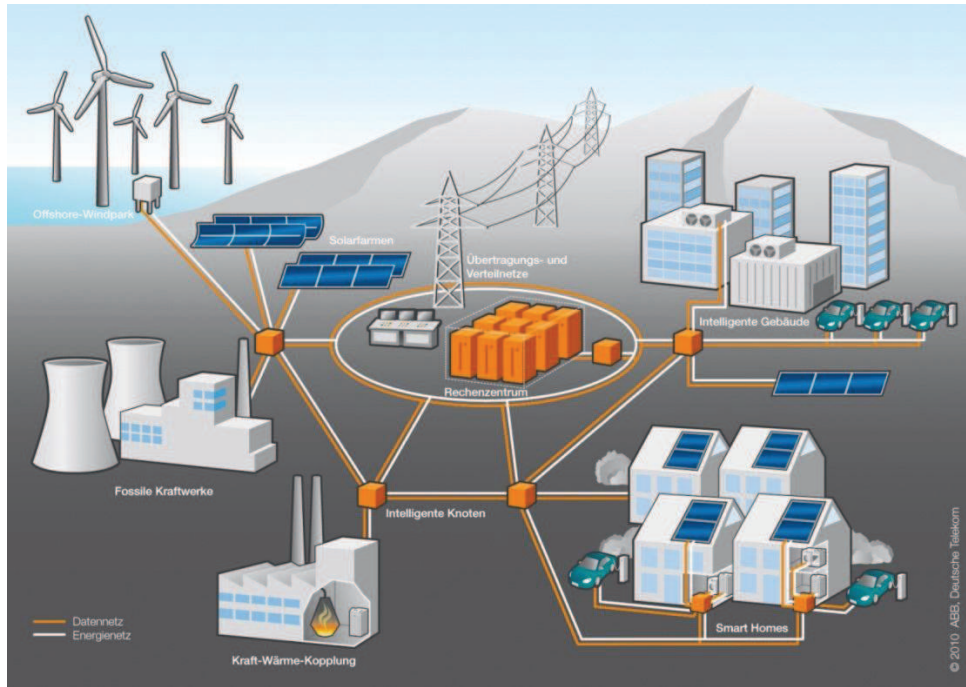


Figura 1. Esquema de una microrred [10]

Sin embargo en este proyecto no se tratará este tipo de instalación, sino de la producción de energía a partir del Sol, puesto que casi toda la energía disponible proviene directa o indirectamente del Sol. La instalación que se va a diseñar tendrá una aplicación que se restringe a aplicaciones térmicas de la energía solar, sin contemplar la producción de energía eléctrica a partir de este.

El Sol es el causante del movimiento de las corrientes de aire, de la evaporación de las aguas superficiales, de la formación de las nubes, de las lluvias, y por lo tanto, es indirectamente el causante de otras energías renovables como la energía eólica, la energía del mar y la energía procedente de la biomasa. Además de las energías renovables que son producto de la radiación directa del Sol como son la energía solar térmica y fotovoltaica.

2.1.El Sol y la radiación solar

Se puede decir que el Sol es la principal fuente de energía para muchos procesos que se tienen en la Tierra. El Sol está formado por gas a temperaturas muy elevadas. Este gas se transforma en energía mediante reacciones atómicas de fusión nuclear. La generación de energía proviene de la pérdida de masa del Sol. De esta energía liberada llega a nuestro planeta la equivalente a la que se produciría con 170 millones de reactores nucleares de 1.000 MW de potencia eléctrica unitaria, es decir, aproximadamente 4.000 veces el consumo energético mundial.

Las instalaciones que aprovechan la energía irradiada por el Sol dependen de la radiación solar que les llega. Esta a su vez es dependiente de la posición de la Tierra respecto del Sol y de la latitud del lugar en el que se realice el estudio.

Se ha de tener en cuenta que la distancia entre la Tierra y el Sol no es constante durante todo el año, sino que varía. Esto es debido a que la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol es una

elipse con excentricidad, es decir, el Sol no se haya en el centro de la elipse. Con ello se puede observar que la distancia entre ambos será mínima cuando la Tierra se encuentre en el perihelio, aproximadamente el 4 de enero, siendo la radiación solar extraterrestre máxima. Mientras que cuando esta se encuentre en el punto más alejado del Sol, en el afelio, aproximadamente el 1 de julio, la radiación extraterrestre sea mínima.

Una de las ventajas de la utilización de la energía solar es que esta se puede aprovechar en cualquier parte de la Tierra puesto que el Sol incide en todo el mundo y es una fuente de energía gratuita. En efecto, si se mira en el pasado, se ve que en la antigüedad ya se empleaban como fuentes de energía las que ahora se denominan renovables. Sin embargo, estas perdieron protagonismo tras la revolución industrial a partir de la cual la principal fuente energética fue el carbón a causa de su mayor densidad energética y disponibilidad, así como su facilidad de uso.

Para alcanzar la superficie terrestre, la radiación solar debe atravesar la atmósfera. En ella experimenta diversos fenómenos que hacen variar las características de la radiación solar. Tales fenómenos son la dispersión y la absorción siendo los principales causantes los componentes de la atmósfera que se convierten en nuevos emisores de energía cuando incide sobre ellos la radiación solar, de manera que parte de esta energía captada es de nuevo radiada en todas las direcciones (fenómeno de dispersión) y por otra parte se pueden convertir en sumideros de energía (fenómeno de absorción).

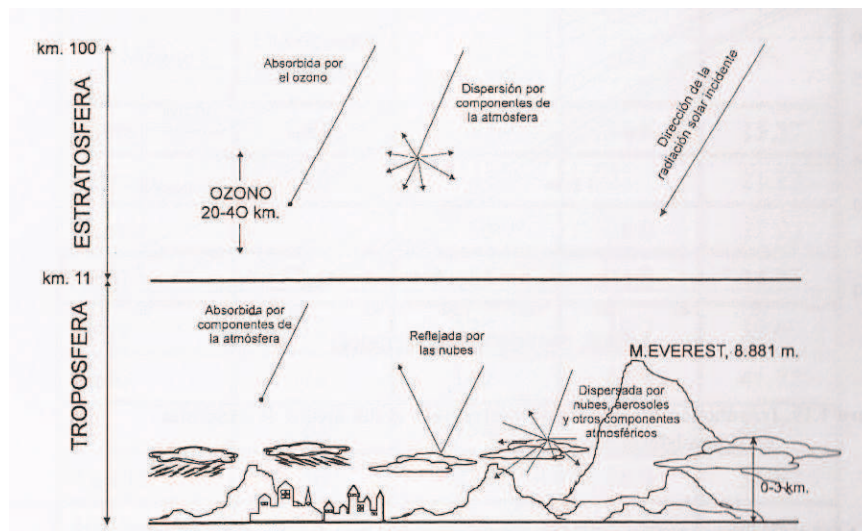


Figura 2. La atmósfera terrestre y sus principales acciones sobre la radiación solar [8]

A nivel terrestre se pueden distinguir tres componentes de la radiación solar incidente:

- La componente directa: radiación que no ha sido interferida por la atmósfera terrestre y que tiene una dirección perfectamente definida por la hipotética línea que una la Tierra con el Sol. Es la que produce sombras.
- La componente difusa: radiación solar que ha sufrido procesos de dispersión por los componentes de la atmósfera y proviene de todos los puntos de la bóveda celeste. Es la radiación existente en días nublados.

- La componente reflejada: radiación directa y difusa, que una vez ha sido reflejada por la Tierra u obstáculos circundantes, incide sobre la superficie en cuestión.

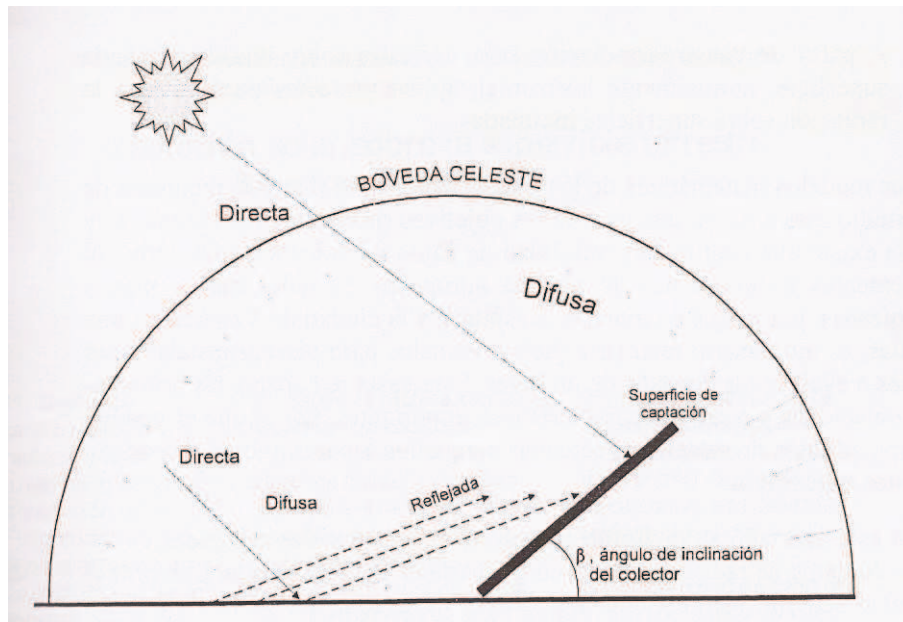


Figura 3. Componentes de la radiación solar: directa, difusa y reflejada [8]

La radiación solar global es la suma de las tres componentes descritas anteriormente y es la que se aprovecha para su transformación térmica. Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo recibida por una superficie determinada dependen de:

- Las condiciones meteorológicas. En un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad, mientras que en un día despejado con clima seco predomina la componente directa.
- La inclinación de la superficie respecto al plano horizontal. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada.
- La presencia de superficies reflectantes. Las superficies claras son las que mayor índice de reflexión tienen.

La inclinación de la superficie de captación que permite maximizar la energía recogida puede variar en función del lugar en el que se coloque así como de su orientación. En la práctica, la posición óptima se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con un ángulo de inclinación similar a la latitud del lugar aunque es posible utilizar inclinaciones diferentes en función de la aplicación y de la temporada de uso.

2.2. Usos de la radiación solar

La radiación solar que llega a nuestro planeta se puede transformar en energía eléctrica o en térmica mediante módulos fotovoltaicos para la generación de electricidad y captadores o

colectores térmicos para la generación de calor. Ambas formas de obtener energía del Sol son independientes entre sí, es decir, no tienen nada que ver una con la otra.

Para la producción de energía eléctrica se emplean células solares fotovoltaicas como las empleadas en los primeros satélites solares. Estas células son integradas en paneles solares y la forma de obtener electricidad tiene una clara ventaja frente a otras alternativas a las fuentes energéticas no renovables y es que, al no tener partes móviles los paneles, son prácticamente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen algún ruido, no consumen ningún tipo de combustible y tienen un mantenimiento prácticamente nulo. Otra característica de esta forma de obtener electricidad es que funciona, aunque con menos rendimiento, incluso en días nublados, pues las células solares fotovoltaicas captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad obtenida mediante este método puede o bien utilizarse directamente a través de un motor eléctrico o bien puede ser almacenada en acumuladores y ser utilizada en horas nocturnas teniendo en cuenta que estas cantidades de energía almacenada serán muy pequeñas comparadas con el consumo diario. Incluso se puede inyectar la electricidad generada a la red general para así obtener rentabilidad económica pues en algunos países se prima a la electricidad obtenida mediante fuentes renovables por aportar beneficio al medio ambiente.

2.3.Instalación solar térmica.

Una instalación solar térmica es un sistema de aprovechamiento de la energía solar. Con el calor que se obtiene del Sol gracias a los colectores térmicos se pueden satisfacer una gran variedad de necesidades como la obtención de agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para la calefacción de hogares o cualquier otro tipo de edificio. También se puede usar el calor obtenido para la climatización de piscinas. Además, aunque pueda parecer algo contradictorio, se puede emplear el calor obtenido para la climatización durante las épocas más cálidas, es decir, cuando más radiación solar se tiene. Esto es debido a que, para la generación de frío, se necesita una fuente de calor que en este caso tendrá su origen en los captadores solares. Este calor se transforma en frío mediante máquinas de absorción, en las cuales no se entrará en detalle de su funcionamiento pues no es el objetivo de este proyecto.

Los captadores solares para usos térmicos se dividen en 3 grupos en base a la temperatura de trabajo de estos. Por tanto tendremos:

- De baja temperatura (hasta 60°C) donde se emplearán captadores planos para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción, climatización de piscinas y para secaderos.
- De media temperatura (60 ~ 400°C) en los cuales se pueden emplear captadores de vacío o concentradores. El calor obtenido con estos colectores se empleará para calefacción, refrigeración, climatización, procesos industriales y químicos y para desalinización.

- De alta temperatura (400 ~ 3000°C) mediante concentradores y parques helióstatos. Se emplean estos colectores para el uso de calor en procesos industriales a alta temperatura y para la generación eléctrica.

El funcionamiento de una instalación térmica se basa en la captación de la energía radiante para transformarla directamente en energía térmica con el aumento de temperatura de un fluido de trabajo. Posteriormente esta energía térmica es almacenada o bien en el mismo fluido de trabajo de los colectores, o bien transferida al agua de consumo para su posterior utilización.

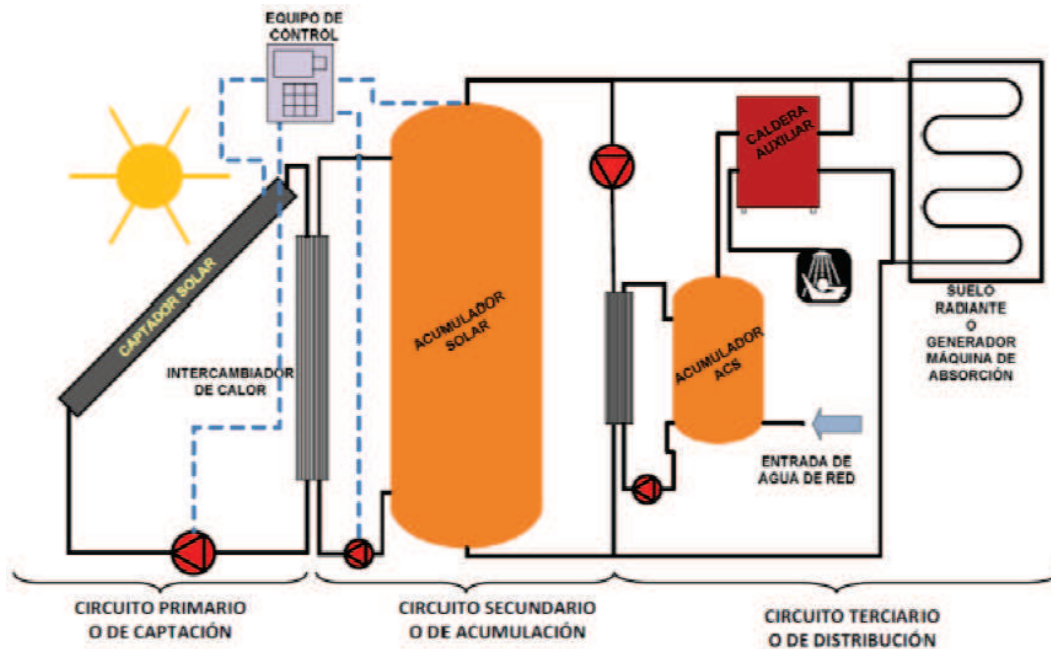


Figura 4. Esquema básico de una instalación solar térmica de baja temperatura de producción de ACS [17]

En cualquier instalación solar térmica se denomina circuito primario al circuito hidráulico formado por los colectores y las tuberías que los unen al acumulador. Este sistema es el encargado de recoger la energía térmica del colector y transferirla al acumulador solar a través de un intercambiador de calor.

Por el circuito secundario circula el agua de consumo. La transferencia de energía solar al agua del acumulador se realiza por la circulación del fluido contenido en el circuito primario. Este se calienta en su paso por los colectores y se enfría cuando pasa a través del intercambiador en donde cede el calor al agua de consumo. Calentada el agua de consumo, esta queda almacenada y dispuesta para ser consumida.

Una instalación solar está constituida por varios sistemas como:

- Sistema de captación: está formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula a través de ellos. Corresponde al circuito primario definido anteriormente.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

- Sistema de acumulación: esta constituido por un depósito que almacena el agua caliente hasta que se precise su uso. Corresponde con el circuito secundario del que se ha hablado antes.
- Un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito primario al agua de consumo. Un intercambiador de calor une el circuito primario con el secundario.
- Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de conducir el movimiento del fluido caliente desde los captadores hasta el sistema de acumulación y de éste a la red de consumo.
- Un sistema de regulación y control que fundamentalmente se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo. Con este sistema se puede aprovechar la máxima energía solar posible además puede incorporar distintos elementos de protección de la instalación.
- Un sistema de energía auxiliar para complementar el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista.

EL abanico de posibles configuraciones en las que se puede diseñar una instalación solar térmica es muy amplio. En un modo genérico, este tipo de instalaciones se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Principio de circulación
 - Instalaciones por termosifón o circulación natural: el movimiento del fluido de trabajo se produce por cambios de densidad del fluido debido a las variaciones de temperatura. Por tanto la circulación del fluido se mantiene cuando existe un gradiente de temperaturas entre el fluido de los colectores y el depósito de acumulación.
 - Instalaciones por circulación forzada: el movimiento del fluido se realiza a través de una bomba de circulación que regula el caudal que pasa a través de los captadores. De este modo se puede controlar la temperatura máxima en el depósito de acumulación ya que se pueden parar las bombas cuando se alcancen temperaturas elevadas.
- Sistema de expansión
 - Sistemas abiertos: el fluido del circuito primario está comunicado directamente con la atmósfera.
 - Sistemas cerrados: al ser un circuito cerrado el fluido del circuito primario está aislado de la atmosfera y por tanto se debe incorporar un vaso de expansión.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

➤ Sistema de intercambio

- Sistemas directos: el fluido del circuito primario es el agua de consumo.
- Sistemas indirectos: el fluido de trabajo de los colectores se mantiene en un circuito independiente al circuito de consumo. La transferencia de calor entre ambos fluidos se realiza mediante un intercambiador. Al ser un circuito independiente el de los colectores, se pueden usar aditivos en el fluido caloportador con el fin de evitar la congelación de este y corrosión en los colectores. Además de esta forma se pueden definir presiones de trabajo distintas a la de la red.

➤ Según la solución de integración con el sistema de energía auxiliar

- Sistemas centralizados en circuito solar y sistema de apoyo.
- Sistemas con circuito y acumulación solar centralizada y apoyo individual con sistema instantáneo.
- Sistemas con circuito solar centralizado y acumulación distribuida directa, con apoyo individual con sistema instantáneo.
- Sistemas con circuito solar centralizado y acumulación distribuida indirecta, con apoyo individual con sistema instantáneo.

➤ Según la aplicación

- Para producción de ACS.
- Para calentamiento de piscinas.
- Para apoyo a calefacción.
- Para aplicaciones de refrigeración.

3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio en el cual se va a diseñar la instalación para la producción de agua caliente sanitaria está construido en Murcia.

Esta vivienda multifamiliar consta de 212 viviendas, 262 plazas de garaje, 212 trasteros y locales comerciales. A la hora de diseñar la instalación para agua caliente sanitaria solo se tendrán en cuenta las viviendas. La distribución de las viviendas tiene forma de “U” y está distribuida en 6 bloques de pisos.

El edificio está compuesto por dos sótanos, ocho plantas que comprenden desde la planta baja hasta la séptima, un ático y la azotea. A continuación se describirá cada planta con más detalle mientras que los planos del edificio se encuentran en los anexos adjuntos.

Sótano -2

En esta planta del edificio se encuentran la mayor parte de las plazas de garaje y de trasteros, 178 y 154 respectivamente.

Sótano -1

En esta planta están el resto de plazas de garaje y trasteros que componen el edificio, es decir, 84 y 59 respectivamente. Además hay una sala de calderas en la cuál se ubicarán algunos elementos de la instalación solar térmica.

Planta baja

La planta baja comprende los portales y los locales comerciales que forman el edificio. Estos locales no se han tenido en cuenta para el cálculo de la demanda de agua caliente al no ser considerados como parte de la comunidad de vecinos.

Planta 1ª – 5ª

Las plantas comprendidas entre la primera y la quinta, ambas incluidas, tiene la misma distribución. Estas están divididas en 6 bloques, de los cuales los bloques 1, 3, 4 y 6 están divididos en dos escaleras.

A continuación se muestra el número de dormitorios que hay en cada vivienda según el bloque en el que se encuentra. El número de dormitorios será necesario para realizar una estimación del número de personas que vivirán en cada vivienda. Esta estimación se realiza siguiendo las indicaciones del CTE:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 1. Número de personas en función del número de dormitorios [1]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por tanto, en el edificio tendremos:

Bloque 1 – Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	4	6
C	4	6
D	3	4

Bloque 1- Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	2	3
B	3	4
C	3	4

Bloque 3 – Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 3 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3
C	2	3
D	3	4

Bloque 4 – escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3
C	2	3
D	3	4

Bloque 4 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3

Bloque 5

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4
C	1	1.5

Bloque 6- Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 6 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	4	6
C	4	6
D	3	4

Por cada planta tendremos un total de 119.5 personas, lo que hace que en estas 5 plantas se estime que haya alrededor de 597.5 personas.

Planta 6ª

La sexta planta se diferencia de las anteriores en los bloques 1 y 6, pues en la escalera 1 del primer bloque las viviendas son más grandes. Lo mismo sucede para la escalera 2 del sexto bloque de pisos. A continuación se muestra como están distribuidas cada vivienda en función de los dormitorios, al igual que se ha hecho para las plantas inferiores.

Bloque 1 – Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	4	6
B	4	6

Bloque 1- Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	2	3
B	3	4
C	3	4

Bloque 3 – Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 3 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3
C	2	3
D	3	4

Bloque 4 – escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3
C	2	3
D	3	4

Bloque 4 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3

Bloque 5

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4
C	1	1.5

Bloque 6- Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 6 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	4	6
B	4	6

En esta planta se estima que habitarán según el CTE 103.5 personas.

Planta 7ª

La escalera 1 del primer bloque de pisos y la escalera 2 del sexto bloque de pisos llegan solo hasta la sexta planta, por tanto, en la séptima planta no hay viviendas en estos bloques. Además, los pisos que hay en ambos bloques serán aún de mayor tamaño respecto a los anteriormente citados.

Bloque 1 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	4	6
B	4	6

Bloque 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	2	3
B	3	4
C	3	4

Bloque 3 – Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 3 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3
C	2	3
D	3	4

Bloque 4 – escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3
C	2	3
D	3	4

Bloque 4 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	2	3

Bloque 5

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4
C	1	1.5

Bloque 6- Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	4	6
B	4	6

Por tanto en esta planta, la penúltima del edificio, se obtiene una estimación de 87.5 personas.

Planta ático

Esta es la última planta habitable del edificio, la distribución de las viviendas en esta planta en base a los dormitorios es:

Bloque 1 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 3 – Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4

Bloque 3 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 4 – escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

Bloque 4 – Escalera 2

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4

Bloque 5

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	1	1.5

Bloque 6- Escalera 1

Letra	Nº de dormitorios	Nº de personas según CTE
A	3	4
B	3	4

En esta última planta se estima que habiten según el CTE 53.5 personas.

Azotea

La azotea del edificio tiene una inclinación de 34.7 grados. Además, en ambos vértices de la “U” que forma el edificio, hay dos cúpulas de cristal. Un elemento que hay que tener en cuenta a la hora de colocar los captadores solares son las salidas de las chimeneas, pues están producen sombras que se deben intentar evitar.

4. Diseño de la instalación

Para poder realizar el diseño de la instalación se han de conocer los datos geográficos del lugar donde se va a realizar (latitud del edificio), las condiciones climatológicas que se dan (radiación solar en plano horizontal, temperatura exterior, temperatura del agua de red y temperatura mínima absoluta de la zona) y se debe establecer el uso que se le va a dar a la instalación, es decir, si se trata de una instalación para ACS, para calefacción y/o refrigeración o bien para el calentamiento de piscinas.

4.1.Datos geográficos

Para el caso que se analiza en este proyecto, tenemos los siguientes datos geográficos obtenidos en el Pliego Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura:

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (°) (de la capital)	TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C)
33 MURCIA	42	38,0	1,1 W	-5

Tabla 2. Datos geográficos de Murcia [2]

De los datos anteriores el más importante a la hora de diseñar la instalación es la latitud del lugar, pues dependiendo de esta, se colocarán los captadores con una inclinación u otra como se explicará más adelante. Mientras que la temperatura mínima histórica será necesaria para establecer el fluido que circule por los colectores.

Según el CTE y como se puede ver en el siguiente mapa, la provincia de Murcia se encuentra en una zona climática IV. La zona climática en la que se encuentra el edificio será importante para saber cuanta fracción del consumo energético debe aportar la instalación.

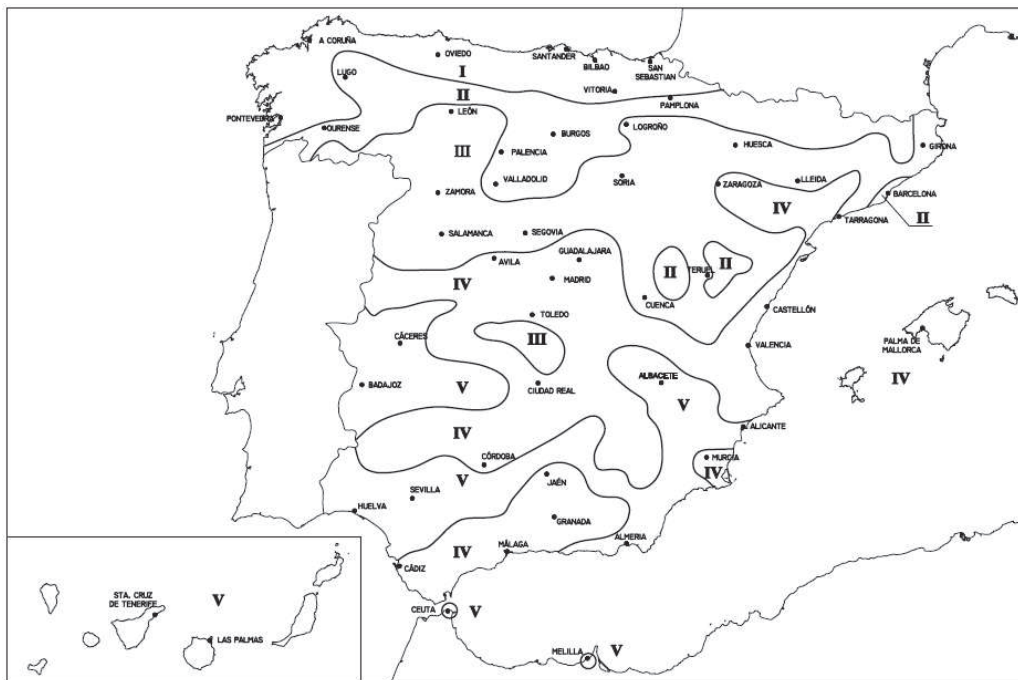


Figura 5. Mapa de España de las zonas climáticas [1]

4.2. Datos climatológicos

Para poder dimensionar la instalación es preciso conocer las condiciones climatológicas del lugar en el que se encuentra el edificio. En particular es necesario saber la radiación que incide sobre el captador, las horas de sol a las que están expuestos estos, la temperatura media durante las horas de sol y la temperatura del agua de red.

4.2.1. Horas de sol

Las horas que el Sol está radiando sobre Murcia se pueden obtener de dos formas. La primera es mediante una tabla de horas solares medias que hay en el Hemisferio Norte entre las latitudes +25° y +45°.

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
De +25° a +45° (Hemisferio Norte)	8	9	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7,5

Tabla 3. Horas de sol en el hemisferio Norte [3]

La otra forma de obtener las horas de sol es analíticamente y para ello se tienen que calcular los ángulos horarios de salida y puesta de sol sobre el plano inclinado.

$$\omega_s = \pm \cos^{-1}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\varphi)] \quad (4.1)$$

En donde el signo negativo corresponde al ocaso (puesta del sol) y el signo positivo al orto. La hora de salida del sol valdrá $12 - \omega_s/15$ y la hora de puesta $12 + \omega_s/15$, siendo ω_s el ángulo horario de salida del sol (positivo).

La trayectoria aparente diaria del Sol se realiza recorriendo un ángulo horario (ω) de 15° cada hora, por tanto, si consideramos que las horas solares (tiempo transcurrido en recorrer un ángulo horario de 15°), son iguales que una hora marcada por un reloj oficial, la duración teórica máxima del día será:

$$T_d = \frac{2 \cdot \cos^{-1}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\varphi)]}{15^\circ} \quad (4.2)$$

Hay dos efectos que pueden hacer variar la percepción que se tiene de la duración del día respecto a la que se obtiene con la expresión anterior. El primero de ellos es el crepúsculo, entendiendo por tal a aquellos momentos del día en que hay luz solar pese a que el Sol no está visible. El segundo es la altitud geográfica que puede modificar el ángulo horario del orto y el ocaso.

Sin embargo, dada la inapreciable aportación energética de la iluminación crepuscular y la escasa influencia de la altura geográfica, se puede usar la expresión anterior sin necesidad de aplicar ningún tipo de factor de corrección.

Las horas solares que se obtienen analíticamente para Murcia son:

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Murcia	9,6	10,5	11,7	12,1	12,1	12,2	12,2	12,1	12	11	9,9	9,4

Tabla 4. Horas de sol calculadas analíticamente

La variación de ambas fuentes de datos es un poco significativa y es debida a que los valores de la primera tabla están medidos en función de las horas en que la radiación solar sobrepasa un mínimo que sería el umbral a partir del cual la instalación funciona. Como este umbral varía según el criterio que se tome, se decide tomar como horas de sol las calculadas analíticamente y por tanto, los valores de la última tabla.

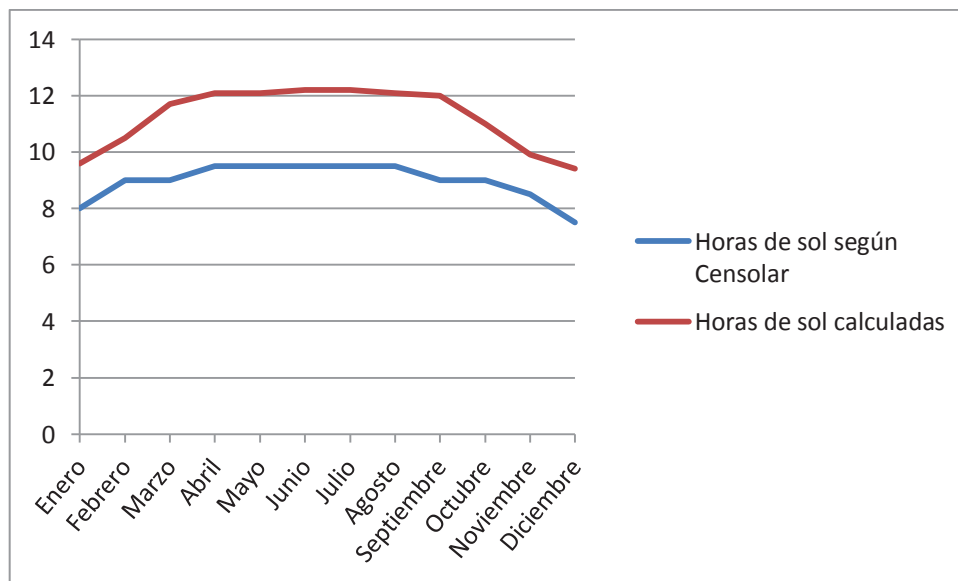


Figura 6. Gráfico comparativo de las horas solares

4.2.2. Radiación solar

Para recoger la máxima cantidad de radiación solar por unidad de superficie es preciso inclinar el colector hasta lograr que la incidencia de esta sea perpendicular. La inclinación óptima de los colectores es igual a la diferencia entre latitud y declinación. Es por esto que, como la declinación varía en función del día del año en el que se calcule, la inclinación dependerá también del día del año.

$$\beta_{optimo}(n) = \varphi - \delta(n) \quad (4.3)$$

Siendo n el día del año, φ la latitud de Murcia y δ la declinación de la tierra.

Como Murcia está en el hemisferio norte del planeta y la latitud (38°) es mayor que la declinación de la tierra ($23,45^\circ$), el colector se debe inclinar hacia el sur.

La declinación de la tierra varía de la siguiente forma:

$$\delta(n) = 23.45^\circ \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (4.4)$$

Sin embargo, como no se va a instalar ningún tipo de seguidor solar a la instalación sino que esta va a estar fija durante todo el año, se ha de tener en cuenta que, en el caso de que la instalación sea para uso exclusivo de los meses de invierno, la inclinación a la que se deberán colocarse los colectores será de 10 grados más que la latitud mientras que, si la instalación va a ser prioritariamente usada en los meses veraniegos, los captadores deberán ser colocados a una inclinación de 10 grados menos a la latitud. Sin embargo, si se va a aprovechar la instalación durante todo el año, como es el caso de este proyecto, la inclinación de los captadores debe ser aproximadamente igual a la latitud. Es importante tener en cuenta que cuanto menor sea el ángulo de incidencia de los rayos solares, mayor será la energía captada por la superficie de captación.

Para el edificio que se está diseñando la instalación se aprovechará la inclinación de la azotea, es decir, los captadores se colocarán a un ángulo de $34,7^\circ$.

Otro parámetro que afecta a la radiación que llega al captador es la orientación que se le da a este, también conocido como el acimut de la superficie. Este es el ángulo comprendido entre la línea hipotética Norte-Sur y la proyección normal a la superficie de captación. Como la instalación será para el aprovechamiento energético de la radiación solar, las superficies de captación estarán orientadas hacia el Sur, es decir, $\gamma = 0$ o lo más próximo a este.

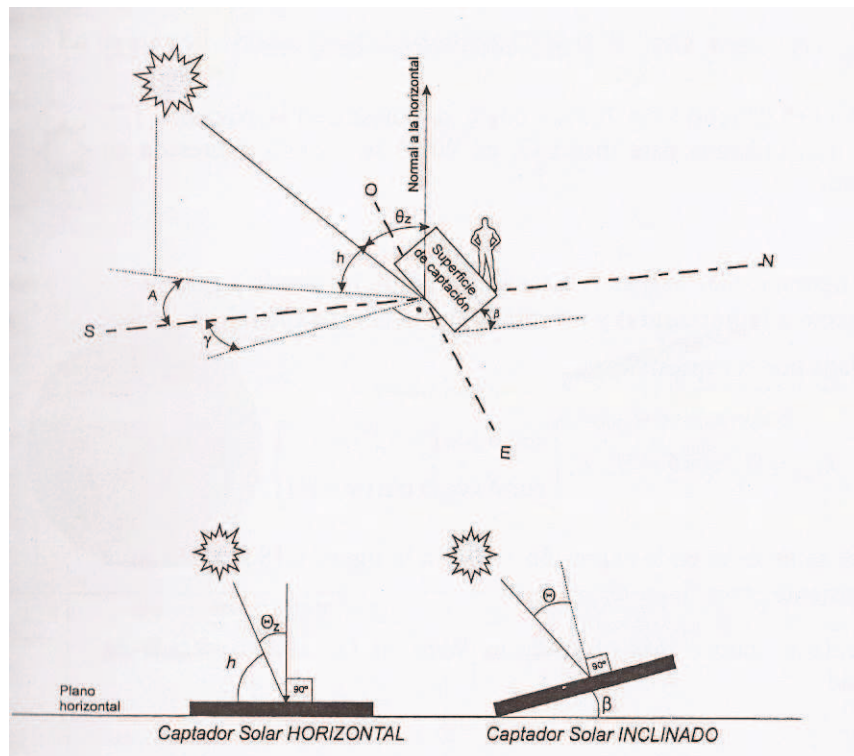


Figura 7. Interpretación gráfica del ángulo de incidencia [9]

Existen bases de datos en las que se registran los datos de radiación global para un plano horizontal, sin distinguir componentes directa y difusa. La transformación de estos datos al plano inclinado se hace a través de relaciones geométricas y factores de forma que requieren saber de donde viene la radiación. Por tanto hay que determinar cuánta radiación es difusa,

cuánta reflejada y de qué dirección viene cada una. Para ello se ha de emplear correlaciones y modelos de cielo.

La radiación global se suele descomponer en: directa ($I_{T,b}$), difusa isotrópica ($I_{T,d.iso}$), difusa circunsolar ($I_{T,d.cs}$), difusa del horizonte ($I_{T,d.hf}$) y reflejada o albedo ($I_{T,d.r}$). Es por ello que la radiación global incidente sobre un plano inclinado se expresa como la suma de las distintas contribuciones:

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d.iso} + I_{T,d.cs} + I_{T,d.hf} + I_{T,d.r} \quad (4.5)$$

La radiación global incidente sobre un plano inclinado se puede expresar en función de las radiaciones sobre el plano horizontal:

$$A_c \cdot I_T = I_b \cdot R_b \cdot A_c + I_{d.iso} \cdot A_s \cdot F_{s-c} + I_{d.cs} \cdot R_b \cdot A_c + I_{d.hf} \cdot A_{hz} \cdot F_{hz-c} + I \cdot \rho_g \cdot A_g \cdot F_{g-c} \quad (4.6)$$

En donde A_c , A_s , A_{hz} y A_g son las áreas del captador, del cielo, del horizonte y del suelo respectivamente. Mientras que F_{s-c} es la fracción de radiación que emitida por el cielo llega al captador, F_{hz-c} es la fracción de radiación que emitida por el horizonte llega al captador y el factor F_{g-c} es la fracción de radiación que emitida por el suelo llega al captador. Por último, ρ_g es la reflectividad del suelo y R_b es la relación entre la radiación directa sobre el plano inclinado y el horizontal.

Esta expresión se puede poner en función del área del colector (A_c) usando la reciprocidad de los factores de forma (F). Es decir:

$$A_s \cdot F_{s-c} = A_c \cdot F_{c-s} \quad (4.7)$$

$$A_{hz} \cdot F_{hz-c} = A_c \cdot F_{c-hz} \quad (4.8)$$

$$A_g \cdot F_{g-c} = A_c \cdot F_{c-g} \quad (4.9)$$

Por tanto, la transformación al plano inclinado se hace entonces con la siguiente relación:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_{d.iso} \cdot F_{c-c} + I_{d.cs} \cdot R_b + I_{d.hf} \cdot F_{c-hz} + I \cdot \rho_g \cdot F_{c-g} \quad (4.10)$$

Como se ha dicho anteriormente, R_b es la relación entre la radiación directa sobre el plano inclinado y el horizontal, es decir, es función de la declinación de la Tierra (δ), de la latitud del lugar (φ), del ángulo de inclinación (β) y de la hora solar (ω):

$$R_b(\delta, \varphi, \beta, \omega) = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (4.11)$$

En donde el ángulo θ es el que forman los rayos de sol con la perpendicular al captador. El subíndice "z" indica que el captador está en posición horizontal.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Cuando los captadores solares están colocados con una orientación Sur ($\gamma = 0$), la relación R_b se calcula de la siguiente forma:

$$R_b(\delta, \varphi, \beta, \omega) = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\beta) + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)} \quad (4.12)$$

Otra forma de calcular la relación entre la radiación directa sobre plano inclinado y el horizontal es:

$$R_b = \frac{I_{0\beta}}{I_0} \quad (4.13)$$

Los factores de forma entre el colector y el cielo y entre el colector y el suelo se obtienen de la siguiente forma:

$$F_{c-s} = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (4.14)$$

$$F_{c-g} = \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (4.15)$$

La reflectividad del suelo oscila entre valores de 0,2 y 0,7 siendo el mínimo en condiciones normales y el máximo en presencia de nieve. Como en Murcia la cantidad de días de nieve al año suele ser casi nula, se considerará que la reflectividad del suelo será siempre para condiciones normales (0,2).

De esta forma se puede obtener la radiación sobre el plano horizontal (I) que es la suma de radiación directa y difusa. Esta radiación es la que miden los sensores de radiación y por tanto los datos que se tienen son los de la suma de todas las radiaciones:

$$I = I_b + I_{d.iso} + I_{d.cs} + I_{d.hf} \quad (4.16)$$

Para calcular esto existen modelos de cielo que separan la radiación difusa en fracciones manejables partiendo de unas hipótesis. Podemos distinguir dos tipos de modelo de cielo, el modelo isotrópico y el modelo anisotrópico.

El modelo isotrópico es un modelo simplificado, toda la radiación difusa es isotrópica:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_{d.iso} \cdot F_{c-c} + I \cdot \rho_g \cdot F_{c-g} \quad (4.17)$$

Por tanto para un plano inclinado tendremos:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_{d.iso} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (4.18)$$

El modelo anisotrópico es un modelo HDKR (*Hay, Davies, Klucher & Reindl*) de distribución de la radiación difusa entre las contribuciones isotrópica, circunsolar y horizontal:

$$I_{d,T} = I_d \cdot A_i \cdot R_b + I_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \cdot \left(1 + f \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 \right) \quad (4.19)$$

donde:

$$A_i = \frac{I_b}{I_0} \quad ; \quad f = \sqrt{\frac{I_b}{I}}$$

Siendo I_0 la irradiación extraterrestre, la que llega fuera de la atmósfera e I la suma de la radiación directa y difusa a nivel del suelo.

Para calcular la irradiación solar extraterrestre sobre el plano horizontal es necesario primero calcular la irradiancia solar extraterrestre sobre una superficie perpendicular a los rayos solares, es decir, se deberá primero obtener el valor de esta potencia para los días medios de cada mes:

$$G_{0n} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \quad (4.20)$$

Siendo n el día medio de cada mes. El valor de $n=1$ corresponderá para el 1 de enero, mientras que el valor $n=45$ corresponderá al 14 de febrero. G_{sc} es el valor de la potencia solar fuera de la atmósfera terrestre, tiene un valor constante de 1367 W/m^2 .

Sabiendo cuanto vale la potencia solar extraterrestre sobre un plano horizontal, se puede calcular la irradiación horaria extraterrestre sobre un plano horizontal:

$$I_0 = \frac{2 \cdot 12 \cdot 3600 \cdot G_{0n}}{\pi} \cdot [\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)] \quad (4.21)$$

Mientras que la irradiación horaria extraterrestre para un plano inclinado y un determinado ángulo β se obtiene con:

$$I_{0\beta} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 3600 \cdot G_{0n}}{\pi} \cdot [\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \omega_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)] \quad (4.22)$$

Con esto calculado y sabiendo cuanto proporción de la radiación solar que llega al lugar de estudio es directa y cuanto es difusa se puede obtener cuanto radiación difusa llega de cada tipo (isotrópica, circunsolar y horizontal) y saber cuanto es la radiación total.

Por tanto la expresión resultante para la irradiación sobre el plano inclinado es:

$$I_T = (I_b + I_d \cdot A_i) \cdot R_b + I_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) \cdot \left(1 + f \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3\right) + I \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \quad (4.23)$$

La diferencia entre ambos modelos es que el modelo isotrópico estima radiaciones inferiores a las reales (aproximadamente un 5% menos), mientras que el modelo anisotrópico estima radiaciones prácticamente iguales a las reales sin introducir demasiada complicación adicional al otro modelo.

Los valores de la irradiación diaria global media mensual de Murcia se pueden obtener del Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura o bien a través del instituto *Joint Research Centre (JRC)*.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Los datos de energía en megajulios por metro cuadrado de superficie horizontal obtenidos a través del Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura son:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
MURCIA	10,1	14,8	16,6	20,4	24,2	25,6	27,7	23,5	18,6	13,9	9,8	8,1	17,8

Tabla 5. Irradiación diaria por metro cuadrado de superficie horizontal [3]

Mientras que los datos de energía que se obtienen del instituto *Joint Research Centre* (JRC), también expresados en megajulios por metro cuadrado de superficie, son:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
MURCIA	9,14	11,84	16,7	21,28	24,66	28,01	28,15	24,3	18,54	13,72	9,86	8,89	17,92

Tabla 6. Irradiación diaria por metro cuadrado de superficie horizontal [5]

Como se puede observar, la diferencia de los datos proporcionados por ambas fuentes es mínima. A lo largo del diseño de la instalación se emplearán los datos obtenidos de *JRC* pues es una fuente avalada por la Unión Europea.

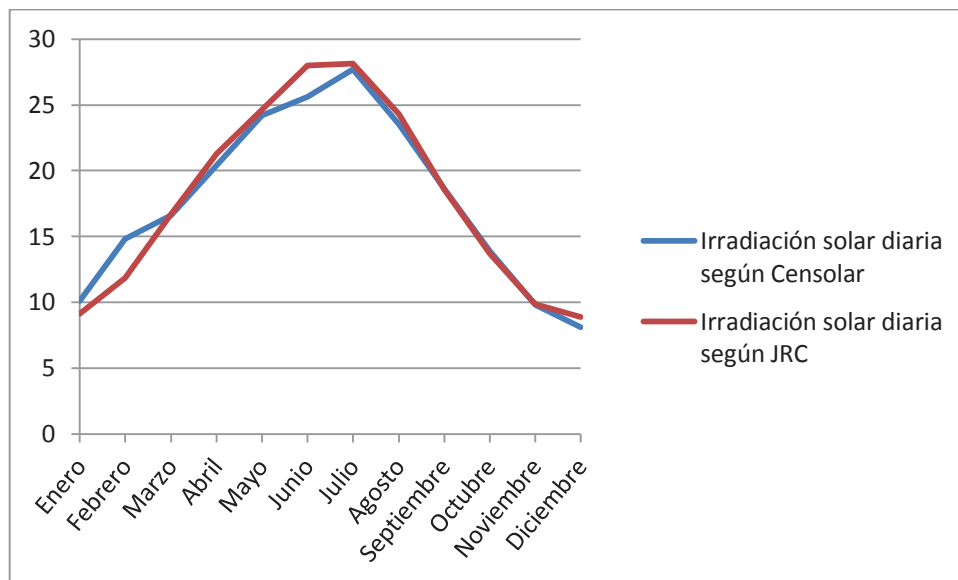


Figura 8. Gráfica comparativa de la irradiación solar diaria

Para estos valores de radiación sobre plano horizontal y aplicando las correlaciones del modelo anisotrópico que se han explicado anteriormente, se puede obtener los correspondientes valores de la radiación solar sobre un plano inclinado pudiendo diferenciarlas por sus respectivas fuentes:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Mes	A_i	f	$H_b \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$	$H_{d.iso} \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$	$H_{d.cs} \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$	$H_{d.hf} \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$	$H_r \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$
Enero	0,343	0,787	11,53	2,427	2,079	0,0476	0,1626
Febrero	0,364	0,812	13,13	2,464	2,333	0,0552	0,2107
Marzo	0,377	0,8	14,2	3,007	3,416	0,0795	0,2971
Abril	0,41	0,825	15,29	2,953	3,657	0,0878	0,3784
Mayo	0,414	0,819	14,76	3,010	4,345	0,0104	0,4386
Junio	0,489	0,854	16,91	3,061	3,517	0,0875	0,4981
Julio	0,51	0,86	17,81	3,193	3,265	0,0818	0,5007
Agosto	0,466	0,843	16,92	3,218	3,43	0,0841	0,4322
Septiembre	0,402	0,819	15	2,970	3,333	0,0794	0,3297
Octubre	0,376	0,806	13,74	2,786	2,727	0,0640	0,2439
Noviembre	0,362	0,806	12,34	2,403	2,008	0,0471	0,1754
Diciembre	0,325	0,742	10,59	2,814	2,461	0,0531	0,1581

Tabla 7. Irradiación media diaria de cada tipo de radiación

Por tanto la irradiación diaria media de cada mes expresada en megajulios que recibirá el captador colocado a la inclinación de la azotea, será de:

Mes	$H \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$
Enero	16,4
Febrero	18,32
Marzo	21,09
Abril	22,44
Mayo	22,73
Junio	24,15
Julio	24,93
Agosto	24,16
Septiembre	21,8
Octubre	19,68
Noviembre	17,13
Diciembre	16,24

Tabla 8. Irradiación media diaria de cada mes

De forma que, al año, un sistema de captación solar reciba de media $20,76 \frac{MJ}{m^2}$ por día.

Sabiendo además cuantas horas está en funcionamiento la instalación (horas de sol que inciden), podemos saber esta energía en W/m^2 .

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Mes	$H \left[\frac{MJ}{m^2} \right]$	ω [hr]	$H \left[\frac{W}{m^2} \right]$
Enero	16,4	9,6	472,109
Febrero	18,32	10,5	482,635
Marzo	21,09	11,7	499,643
Abril	22,44	12,1	516,342
Mayo	22,73	12,1	519,599
Junio	24,15	12,2	550,306
Julio	24,93	12,2	568,88
Agosto	24,16	12,1	554,376
Septiembre	21,8	12	503,9
Octubre	19,68	11	498,461
Noviembre	17,13	9,9	480,443
Diciembre	16,24	9,4	481,408

Tabla 9. Irradiación diaria

De los resultados anteriores se obtiene una irradiancia solar promedio anual de $510,675 \text{ W/m}^2$.

4.2.3. Temperatura media solar y temperatura del agua de red

La temperatura ambiente media durante las horas de sol se obtiene de las mismas fuentes de datos que se han empleado para calcular la radiación solar media, es decir, del Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura y del instituto *Joint Research Centre*.

De la primera de ellas se obtienen las siguientes temperaturas ambiente medias:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
MURCIA	12	12	15	17	21	25	28	28	25	20	16	12	19,3

Tabla 10. Temperatura ambiente media de cada mes [3]

Mientras que del instituto *JRC* se tiene:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
MURCIA	12,8	14	16,4	18,5	21,5	25,9	28,2	28,6	25,5	21,9	16,6	13,5	20,3

Tabla 11. Temperatura ambiente media de cada mes [5]

Una vez más, se emplearán los datos que proporciona esta última fuente, pues se trata de datos más actualizados.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

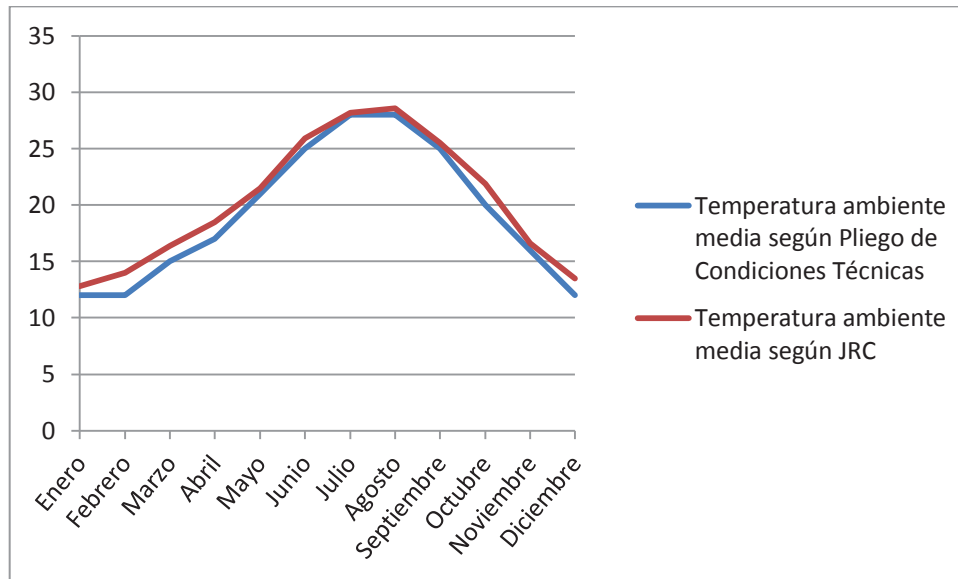


Figura 9. Gráfica comparativa de la temperatura ambiente media

En cuanto a la temperatura del agua de red, se tomará los valores de la norma UNE 94002:2005. Es decir:

	Altura de referencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Murcia	42	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11

Tabla 12. Temperatura media de red de cada mes [2]

4.3.Consumo de ACS

Para calcular el consumo que se efectúa en este edificio, se ha de tener en cuenta que la utilización del agua será únicamente como agua caliente sanitaria. Este consumo se puede obtener directamente haciendo una media de los consumos que se han realizado en años anteriores midiendo el contador del agua de agua caliente.

Como estos datos no se tienen para este proyecto, se obtendrá el caudal de consumo de la instalación mediante estimaciones. Existen varios métodos de estimaciones:

- Con facturas de combustible: se puede estimar el consumo de agua caliente sabiendo el consumo de combustible que se usa para tal fin y así saber cuanta agua ha sido calentada.
- Con el consumo de agua fría: se puede estimar que el consumo de ACS está comprendido entre un 25 y un 35 % del agua fría consumida.
- Por utilización de aparatos de consumo: a partir de los caudales instantáneos mínimos para cada tipo de aparato según establece el código técnico en DB-HS 4.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 13. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato [1]

- A partir de los consumos unitarios y del porcentaje de ocupación: es el método más empleado para estimar el caudal de consumo de un edificio. Este será el método que se empleará en este proyecto.

Para estimar el consumo de agua caliente se ha de tener en cuenta la cantidad de residentes de todo el edificio. Según se ha visto anteriormente, en el edificio, siguiendo la normativa del CTE, se estima que viven 842 personas. Para saber cuanta ACS se necesita para abastecer las necesidades de todas estas personas seguiremos la normativa que establece Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura en cuanto a consumo de agua a 60°C.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 14. Demanda de referencia a 60°C [1]

Por tanto, según la tabla anterior, el consumo de ACS que se deberá cubrir es:

$$\dot{m}_{cons_dia} = 842 \text{ personas} \cdot 22 \frac{\text{litros ACS}}{\text{día} \cdot \text{personas}} = 18524 \frac{\text{litros ACS}}{\text{día}} \quad (4.24)$$

Como la instalación se está diseñando por las necesidades mensuales, el consumo que se utilizará para el diseño de la instalación variará según el mes en el que se estudie. Además se ha de tener en cuenta que el consumo de ACS no es constante durante todo el año, sino que varía según la época del año que se estudie tal y como se indica en el DTIE 1.01 y se muestra en la siguiente gráfica.

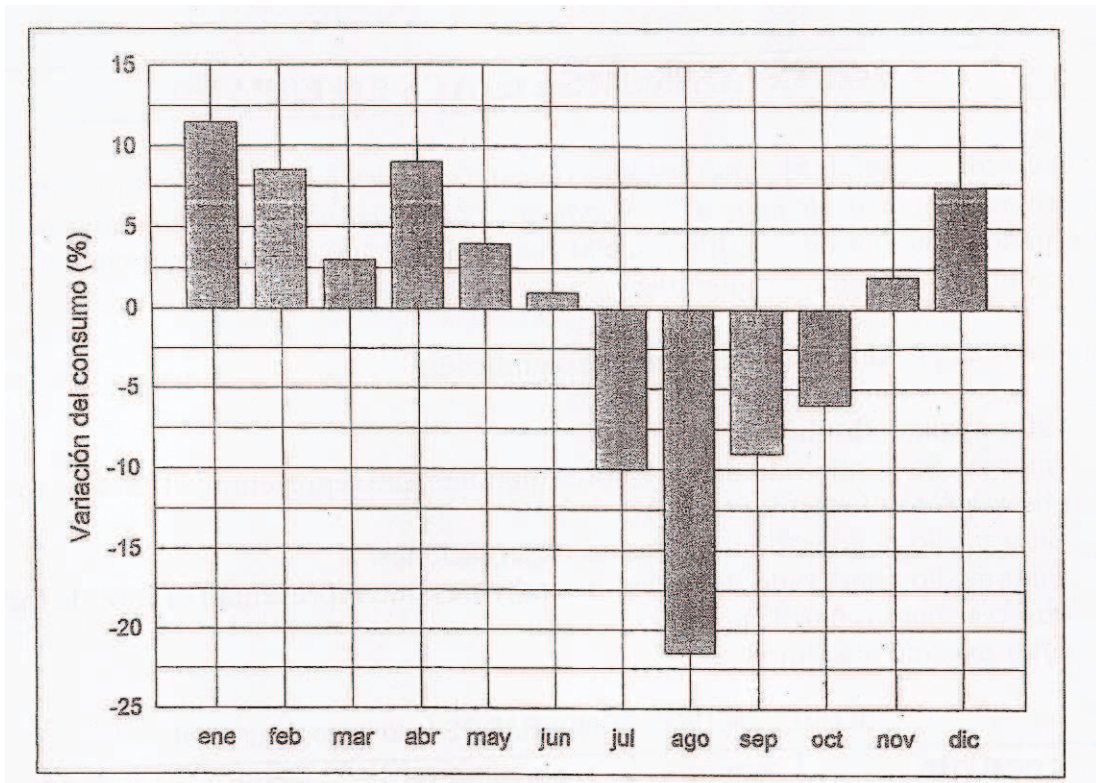


Figura 10. Variación media del consumo mensual en viviendas [6]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por tanto el consumo de ACS que se estima para este edificio multifamiliar es de:

Mes	Días/mes	Ocupación []	$\dot{m}_{cons} [\frac{l}{mes}]$
Enero	31	1,115	640282,06
Febrero	28	1,085	562759,12
Marzo	31	1,03	591471,32
Abril	30	1,09	605734,80
Mayo	31	1,04	597213,76
Junio	30	1,01	561277,20
Julio	31	0,9	516819,60
Agosto	31	0,785	450781,54
Septiembre	30	0,91	505705,20
Octubre	31	0,94	539789,36
Noviembre	30	1,02	566834,40
Diciembre	31	1,075	617312,30

Tabla 15. Consumo mensual de ACS

Teniendo en cuenta las horas que los captadores solares están en funcionamiento, es decir, las horas de sol y que la densidad del agua es $\rho_{agua} = 998,2 \text{ kg/m}^3$, se tiene:

Mes	$\dot{m}_{cons} [\frac{l}{mes}]$	ω [hr]	$\dot{m}_{cons} [\frac{kg}{s}]$
Enero	640282,06	9,6	0,5935
Febrero	562759,12	10,5	0,5285
Marzo	591471,32	11,7	0,4511
Abril	605734,80	12,1	0,4637
Mayo	597213,76	12,1	0,4396
Junio	561277,20	12,2	0,4256
Julio	516819,60	12,2	0,3797
Agosto	450781,54	12,1	0,3330
Septiembre	505705,20	12	0,3889
Octubre	539789,36	11	0,4402
Noviembre	566834,40	9,9	0,5291
Diciembre	617312,30	9,4	0,5892

Tabla 16. Consumo de ACS

Por tanto se tiene un consumo medio anual de:

$$\dot{m}_{cons} = 0,4635 \text{ kg/s}$$

4.4.Demanda energética de ACS

La demanda energética es la carga térmica que debe satisfacer la instalación para suministrar agua a una temperatura de consumo de 60°C. La demanda energética se define como:

$$Q_{cons} = \dot{m}_{cons} \cdot C_{p_{agua}} \cdot (T_{sum} - T_{red}) \quad (4.25)$$

Siendo:

- Q_{cons} la carga o energía calorífica necesaria.
- \dot{m}_{cons} el caudal del agua de consumo.
- $C_{p_{agua}}$ el calor específico del agua ($4182 \frac{J}{^{\circ}C \cdot kg}$).
- T_{sum} la temperatura del agua de suministro (60°C).
- T_{red} la temperatura del agua de red.

Por tanto, metiendo los correspondientes valores en la fórmula anterior para cada mes, se tiene:

Mes	$\dot{m}_{cons} [\frac{kg}{s}]$	$T_{sum} [^{\circ}C]$	$T_{red} [^{\circ}C]$	$C_{p_{agua}} [\frac{J}{^{\circ}C \cdot kg}]$	$Q_{cons} [MJ]$	$Q_{cons} [kW \cdot h]$
Enero	0,5935	60	11	4182	130297,553	36193,765
Febrero	0,5285	60	11	4182	114623,834	31839,954
Marzo	0,4511	60	12	4182	118235,570	32843,214
Abril	0,4637	60	13	4182	119104,483	33084,579
Mayo	0,4396	60	15	4182	111713,020	31031,394
Junio	0,4256	60	17	4182	100841,127	28011,424
Julio	0,3797	60	19	4182	88640,563	24622,379
Agosto	0,3330	60	20	4182	75220,778	20894,660
Septiembre	0,3889	60	18	4182	88527,105	24590,863
Octubre	0,4402	60	16	4182	99435,995	27621,110
Noviembre	0,5291	60	13	4182	111193,295	30887,026
Diciembre	0,5892	60	11	4182	126658,662	35182,962

Tabla 17. Demanda energética para ACS

Por tanto, en un año la demanda energética para ACS es de:

$$Q_{cons} = 1284491,983 \text{ MJ} = 356803,329 \text{ kW} \cdot h$$

4.5. Cálculo de la instalación

Como se ha comentado anteriormente, existen varios tipos de configuración de una instalación solar por lo que lo primero es elegir como va a ser esta para saber que elementos son necesarios dimensionar.

Lo primero es saber que la instalación solo será para la producción de agua caliente sanitaria y que será una instalación con el sistema solar y la caldera de apoyo centralizados. Será un circuito de circulación forzada y por tanto se necesitarán bombas de circulación. Los circuitos de la instalación serán cerrados por lo que se deberán instalar vasos de expansión para hacer frente a las dilataciones del fluido y también será necesario un intercambiador de calor para transferir la energía térmica obtenida con el sistema de captación al sistema de consumo.

Para calcular los parámetros de la instalación es preciso realizar un balance energético de los componentes de la instalación resolviendo un sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas. Para ello se deben realizar dos pasos.

En primer lugar se deberá calcular el área de captadores necesaria para cumplir la fracción solar mínima que establece el CTE para la zona climática en la que está el edificio (IV) y para el consumo de ACS que se genera en dicho edificio. En esta parte se resolverá el sistema de ecuaciones con valores medios anuales con el fin de obtener una estimación del área de captación necesaria y en consecuencia el número de captadores solares que serán necesarios.

En segundo lugar se resolverá el sistema de 7 ecuaciones con un área de colectores ya fijado calculando así la contribución solar mínima que aporta la instalación mes a mes. Obtenido esto, se deberá comprobar que cumple las especificaciones del CTE, es decir: "El dimensionado de la instalación estará limitado por el cumplimiento de la condición de que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100%." [1]

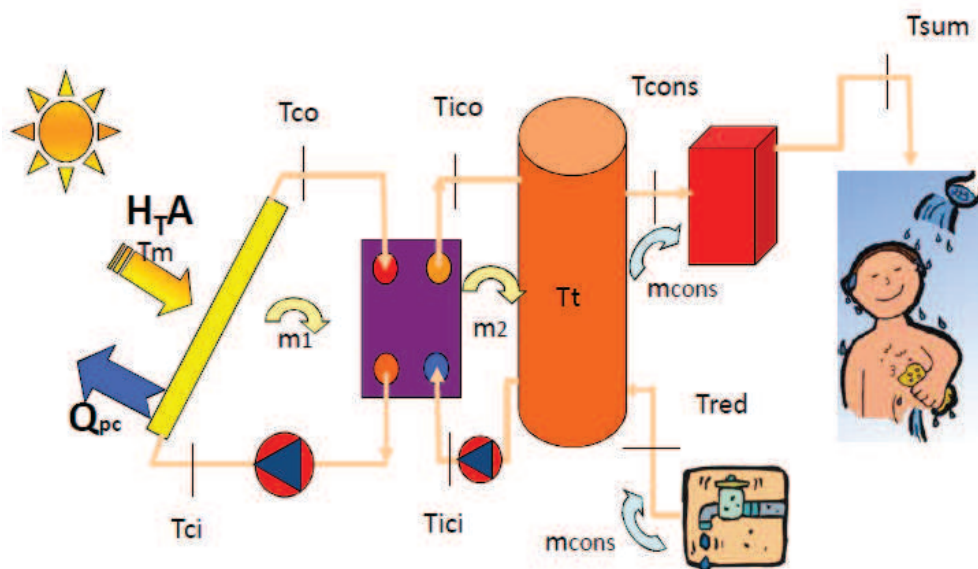


Figura 11. Esquema de la instalación [17]

Como se observa en la figura, hay tres caudales distintos, uno por cada circuito de la instalación (primario, secundario y de consumo).

4.5.1. Circuito primario

En el circuito primario está el sistema de captación solar. Para poder calcular las dimensiones del sistema de captación solar térmica, se debe primero saber que tipo de captador se va a emplear, cuales son sus características. Además se debe tener en cuenta que el fluido que circula por los captadores no es agua, sino que debe llevar una proporción de anticongelante para evitar una posible congelación del agua y que esto provoque una rotura de los tubos que pasan a través de los captadores. Se deberá también tener en cuenta las pérdidas de carga que se tienen en las tuberías por las que circula el fluido para así poder elegir correctamente la bomba de impulsión adecuada.

4.5.1.1. Captador solar

El captador solar es el elemento encargado de transformar la radiación solar en energía térmica y por eso es un elemento clave en la instalación solar térmica.

El tipo de captadores que se pueden encontrar en el mercado se pueden clasificar en función del tipo de cubierta que incorporen, es decir, se distinguen entre captadores vidriados y no vidriados.

Los captadores no vidriados son aquellos que no presentan cubierta que aisle al captador del exterior. Este tipo de configuración hace que las pérdidas de calor de estos captadores sean elevadas siendo su uso más típico el calentamiento de piscinas al aire libre.

Los captadores vidriados están limitados por una cubierta, generalmente de cristal, que hace que se produzca en su interior el efecto invernadero presentando así un coeficiente de pérdidas menor. Este tipo de configuración es idónea para aplicaciones que requieren un nivel energético superior como lo es la producción de agua caliente sanitaria o el apoyo a la calefacción. Esta configuración abarca los captadores planos y los captadores de vacío (de tubos y planos). En efecto, los captadores que se emplearán en el diseño de esta instalación serán vidriados, en particular serán captadores planos.

El principio básico de funcionamiento de un captador solar plano vidriado es el efecto invernadero. El mecanismo de transferencia de energía al interior del captador solar deber ser lo más eficiente posible, minimizando las pérdidas, por lo que un componente de los captadores son una superficie de aislamiento y unas juntas de estancamiento. Además, la radiación debe incidir sobre una superficie que capte la energía radiante sobre esta a través de la placa absorbidora. El fluido de trabajo debe estar confinado en unas tuberías interiores y conectarse al exterior por medio de los distribuidores. Lógicamente, todos estos elementos deberán estar confinados en una caja y, como se ha dicho anteriormente, tapados por una cubierta protectora.

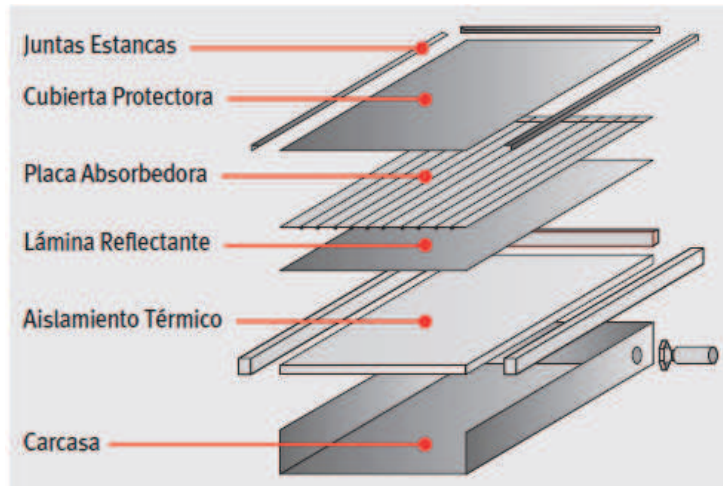


Figura 12. Elementos de la carcasa [4]

Cubierta transparente

Como su nombre indica, está fabricada con un material transparente a la radiación solar que debe ser opaco a la radiación de onda larga emitida por el absorbente de modo que pueda producir el efecto invernadero en el interior del captador solar. Al mismo tiempo, reduce las pérdidas del captador hacia el ambiente debidas a la radiación y a la convección. Además, la cubierta debe asegurar la estanqueidad del captador.

La cubierta necesita de una limpieza periódica para que no disminuya el rendimiento del captador.

El aislamiento térmico

La función principal del aislamiento en un captador térmico es reducir las pérdidas de calor al exterior. En consecuencia, hay que proveer aislamiento en todas las zonas del captador que no necesiten ser transparentes a la radiación, es decir, los laterales y el fondo.

Para seleccionar el material que hará la función de aislante se ha de tener en cuenta el coeficiente de aislamiento de este y la temperatura de trabajo máxima que debe soportar.

Que el material tenga un coeficiente de aislamiento alto quiere decir que se consigue una mayor reducción de las pérdidas para un espesor determinado.

Es importante tener en cuenta la temperatura máxima de trabajo porque el aislante suele encontrarse en zonas cercanas al absorbente y esto puede producir que el aislante se degrade de forma rápida a temperaturas elevadas. Además es importante que el aislamiento no emita gases por efecto de la temperatura que puedan ensuciar la parte interior de la cubierta de vidrio.

El absorbente

El absorbente es el elemento fundamental de un captador solar plano siendo su función recibir la radiación solar, transformarla en energía térmica y transmitirla al fluido de trabajo. El fluido

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

caloportador debe estar confinado en el interior del captador, y conducido de forma que recorra la mayor parte de la superficie absorbadora.

Hay dos tipos de configuración de los absorbedores según la disposición de los tubos: parrilla de tubos o serpentines.

La configuración de parrilla de tubos consiste en la disposición de tubos paralelos entre sí que comienzan y terminan en dos tubos de mayor diámetro llamados distribuidores. El fluido caloportador entra por el distribuidor inferior y se va repartiendo por cada uno de los tubos verticales recorriéndolos y calentándose hasta alcanzar el otro distribuidor superior que dará salida al fluido calentado.

Los absorbedores en serpentín presentan la particularidad de lograr un mayor calentamiento de cada partícula fluida a costa de una mayor pérdida de carga en el interior del captador. Además eliminan los problemas de desequilibrio hidráulico ya que todo el fluido circula a través de una única tubería.

La carcasa

La misión de la caja o carcasa es la de contener todos los elementos que forman el captador solar dando rigidez al mismo y permitiendo que el captador sea fijado a una estructura soporte para su correcta fijación. Debe estar fabricada de un material que soporte la acción de los agentes atmosféricos y de la radiación solar, impidiendo su rápido deterioro con el paso del tiempo. Generalmente se emplea aluminio anodizado como material.

La conexión de la caja con el cristal debe realizarse mediante el empleo de materiales que posean propiedades elásticas, no degradables por los agentes atmosféricos y que permitan absorber las dilataciones del material metálico y de la cubierta transparente garantizando la estanqueidad del captador solar.

Rendimiento estacionario del captador solar

El comportamiento del captador solar térmico se evalúa mediante la curva de rendimiento instantáneo que, según la normativa europea, se establece según los procedimientos de ensayo establecidos en la norma EN-12975-2. El ensayo prevé la obtención de dos tipos de curva diferentes, a las que se puede realizar un ajuste lineal o cuadrático. La eficiencia de los captadores vendrá definida por su curva de rendimiento, que permite saber cual es la cantidad de energía que podremos aprovechar en cada situación. El rendimiento de un captador solar se expresa como:

$$\eta_c = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{G} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{G} \quad (4.26)$$

Captador de la instalación

El captador que se va a utilizar en la instalación solar térmica para el edificio residencial multifamiliar en la ciudad de Murcia será el proporcionado por *Thermital*. En particular el

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

modelo *TSOL 25* cuyas dimensiones y propiedades son las que se muestran en la siguiente tabla:

Thermital TSOL 25	
Longitud total	2,078 m
Anchura total	1,240 m
Superficie bruta	2,577 m ²
Área de apertura	2,301 m ²
Área del absorbedor	2,153 m ²
Peso vacío	48 kg
Caudal recomendado	20 – 150 l/h
Contenido de fluido	1,6 l
Presión máxima de operación	10 bar
Temperatura de estancamiento	206 °C

Tabla 18. Características del captador



Figura 13. Captador Thermital TSOL 25 [11]

Los parámetros de la eficiencia, así como las propiedades del caudal empleado en los ensayos son:

Condiciones de ensayo	
Caudal usado para los ensayos	180 l/h
Fluido de transferencia de calor	Agua-Glicol 33,3 %
η_0	0,753
a_1	3,91 W·K ⁻¹ ·m ⁻²
a_2	0,0030 W·K ⁻² ·m ⁻²

Tabla 19. Condiciones de ensayo del captador [18]

Sabiendo las dimensiones del captador, así como los coeficientes de la curva de rendimiento y el caudal recomendado por el fabricante, solo queda establecer las propiedades del fluido que circula por el interior del colector solar.

4.5.1.2. Fluido caloportador

El fluido que pasa por el interior de los captadores no puede ser agua puesto que existe la posibilidad de que la temperatura ambiente sea inferior a los 0°C y por tanto que se congele el agua. Por tanto, se debe usar un anticongelante como fluido caloportador.

Los anticongelantes que se suelen emplear para este tipo de aplicación son glicoles, siendo los más usados el etilenglicol y el propilenglicol. Las características más importantes de los anticongelantes son:

- Son tóxicos debido a que contienen una sustancia conocida como inhibidor de la corrosión. Se debe evitar que se mezcle este fluido con el agua de consumo. Además se pueden aplicar presiones distintas entre los diferentes circuitos de la instalación, por lo que el circuito secundario tendrá una presión mayor que el primario.
- Son muy viscosos puesto que son más espesos, es decir, al fluido le cuesta más avanzar por las tuberías provocando que las pérdidas de carga sean un factor importante a la hora de elegir la bomba de circulación.
- Dilata más que el agua así que será necesario el uso de vasos de expansión.
- Es inestable a más de 120°C. Si se alcanzase dicha temperatura, el anticongelante podría degradarse convirtiéndose el fluido en un ácido que afectaría a la vida de los componentes de la instalación perdiendo además todas sus propiedades por lo que no protegería la instalación de una posible congelación.
- El calor específico es menor que el del agua. Esto significa que es capaz de absorber más energía pero también que es más lento en cederla.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura, el fluido se debe seleccionar de forma que tenga un pH a 20°C entre 5 y 9 y el contenido en sales se debe ajustar a lo siguiente:

- ❖ La salinidad del agua del circuito primario no debe exceder de 500 mg/l totales de sales solubles, en caso de no tener este valor, se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650 µS/cm.
- ❖ El contenido de sales de calcio no excederá de 200 mg/l, expresado como contenido en carbonato cálcico.
- ❖ El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por tanto, el fluido que se emplea para esta instalación es propilenglicol diluido en agua. Para saber cuanto porcentaje de anticongelante es necesario, es preciso tener en cuenta la temperatura mínima histórica en Murcia. Como se ha visto anteriormente, esta es de -5°C . Por lo que, según establece el CTE, el fluido de trabajo debe mantenerse en estado líquido a una temperatura 5 grados menor, es decir, la temperatura de congelación del fluido caloportador deber ser alrededor de los -10°C .

La concentración mínima necesaria de propilenglicol para la ciudad de Murcia se obtiene de la siguiente gráfica:

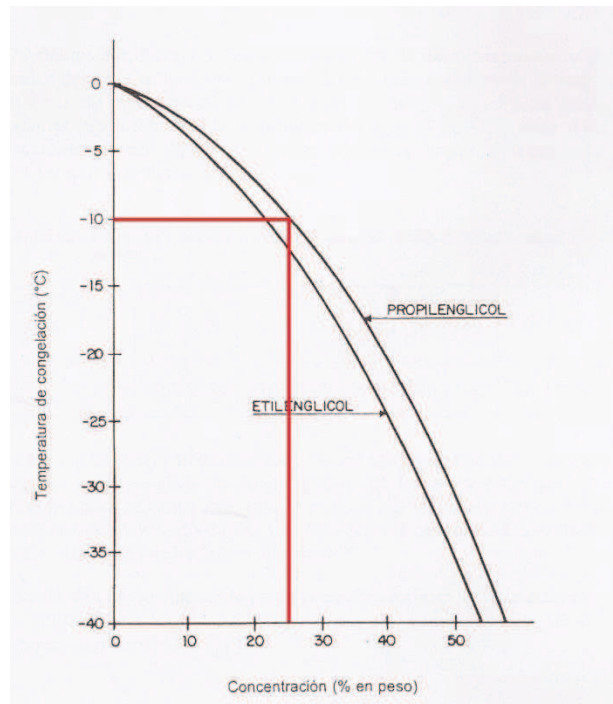


Figura 14. Curvas de congelación de dos preparados comerciales a base de etilenglicol y propilenglicol en función de la concentración [9]

Por lo que se necesitará un mínimo de 25% de concentración de propilenglicol. Para conseguir el fluido con esta concentración se deberá adquirir el anticongelante puro al 99,7% y mezclarlo en su correspondiente porcentaje. Para saber las propiedades del fluido a una temperatura de trabajo de 45°C para la mezcla, se deben obtener de las siguientes gráficas.

Densidad:

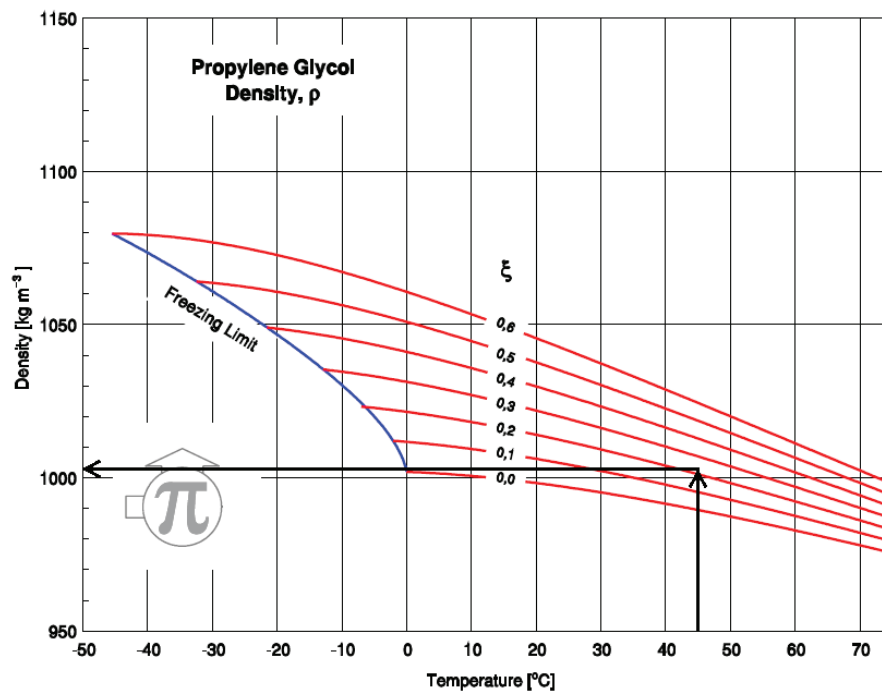


Figura 15. Gráfica de la densidad del propilenglicol en función de la concentración

Calor específico:

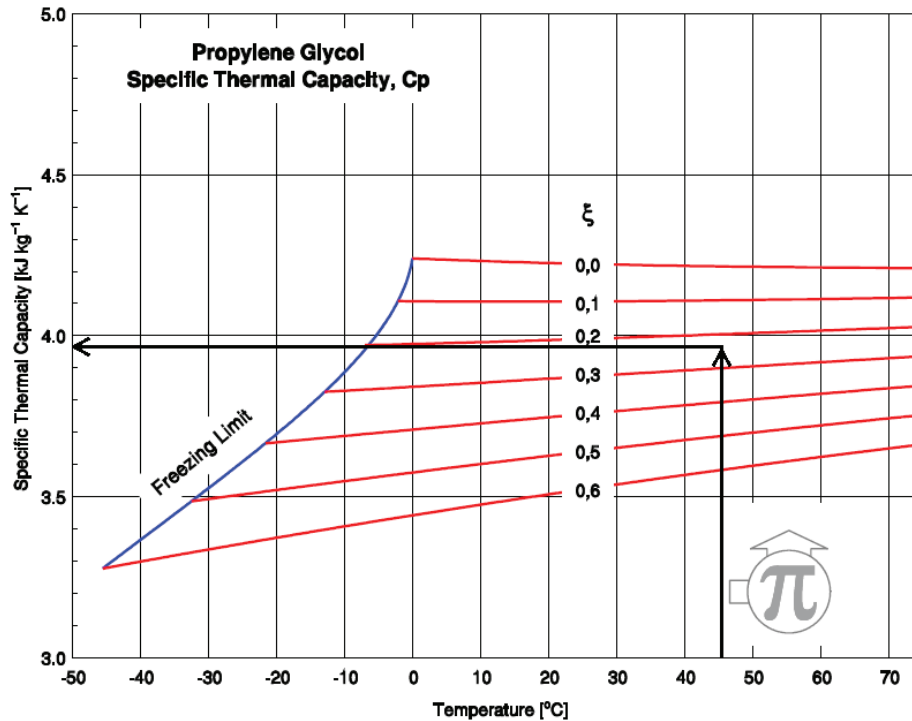


Figura 16. Gráfica del calor específico del propilenglicol en función de la concentración

Conductividad térmica

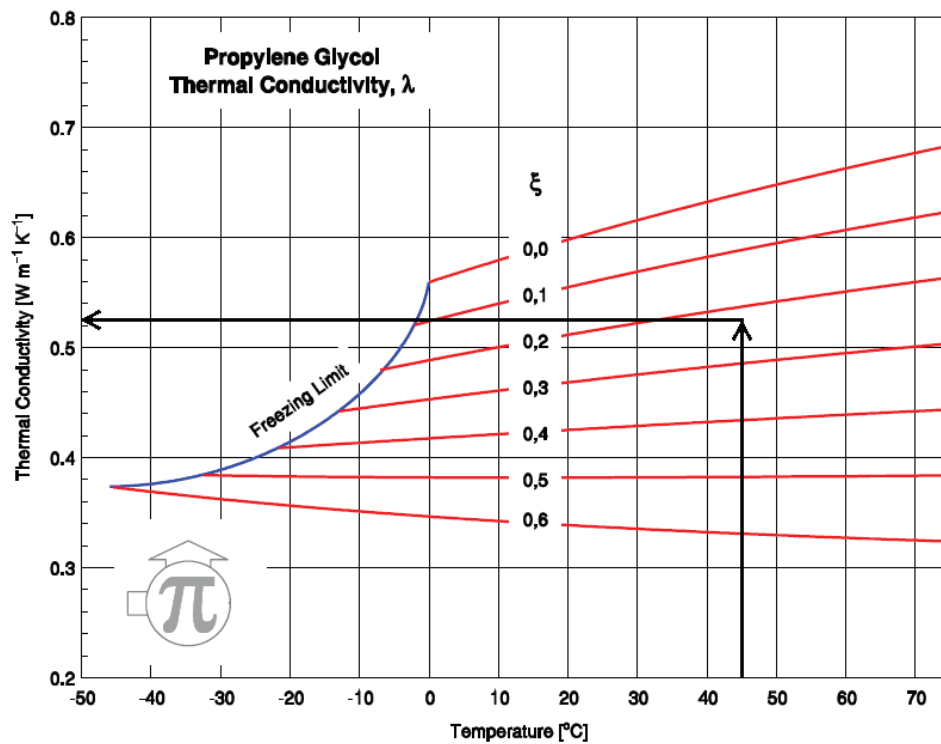


Figura 17. Gráfica de la conductividad térmica del propilenglicol en función de la concentración

Viscosidad dinámica

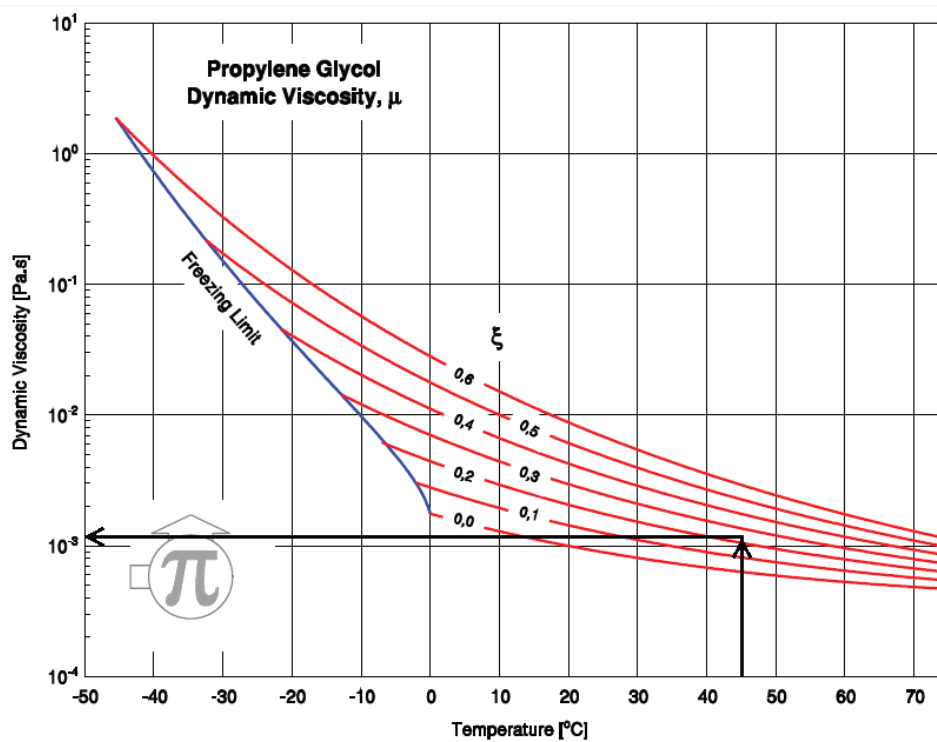


Figura 18. Gráfica de la viscosidad dinámica del propilenglicol en función de la concentración

Prandtl

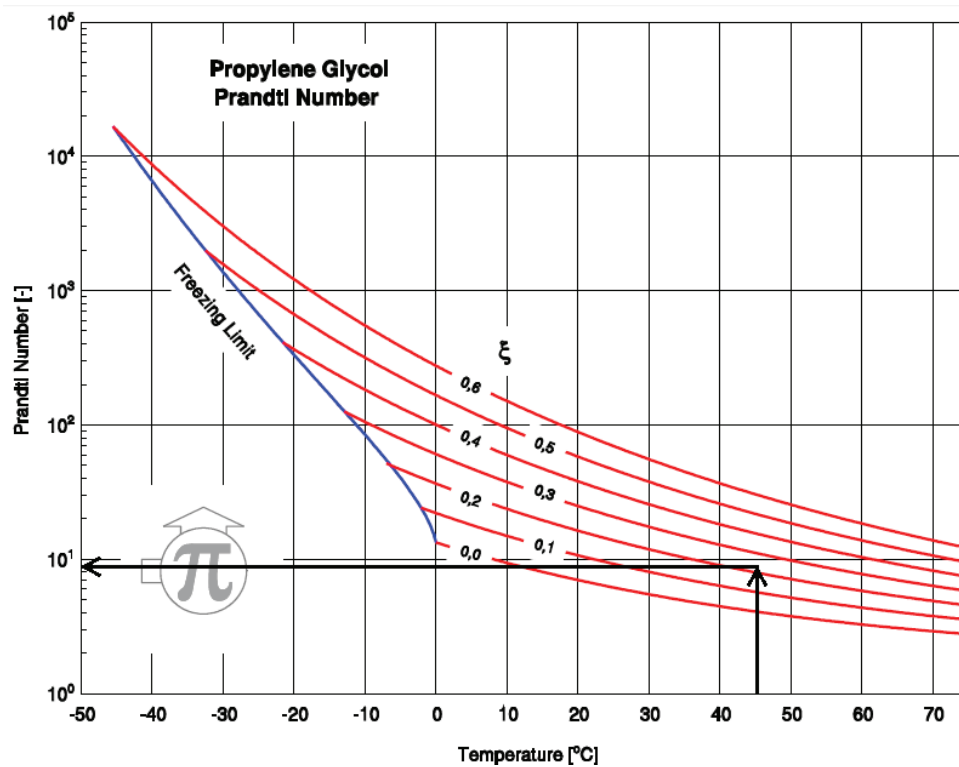


Figura 19. Gráfica del número de Prandtl del propilenglicol en función de la concentración

Coefficiente térmico de expansión

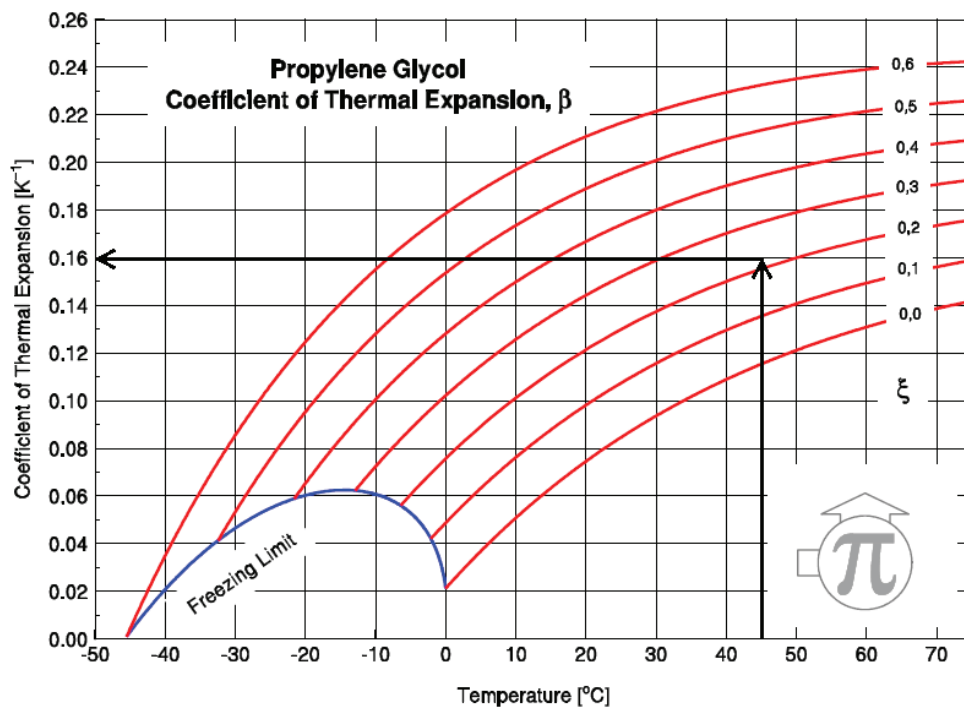


Figura 20. Gráfica del coeficiente térmico de expansión del propilenglicol en función de la concentración

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por tanto las propiedades de la mezcla de propilenglicol (25%) y agua son:

Propiedad	Valor
Densidad ($\rho_{\text{agua-glicol}}$)	1003 kg/m^3
Calor específico ($c_{\text{agua-glicol}}$)	3,96 $kJ/kg \cdot K$
Conductividad térmica ($k_{\text{agua-glicol}}$)	0,525 $W/m \cdot K$
Viscosidad dinámica ($\mu_{\text{agua-glicol}}$)	0,001 $Pa \cdot s$
Número de Prandtl ($Pr_{\text{agua-glicol}}$)	9,1
Coef. de expansión térmica ($\beta_{\text{agua-glicol}}$)	0,16 K^{-1}

Tabla 20. Propiedades del fluido caloportador agua-glicol

Una vez definido que captador se va a emplear en la instalación, así como el fluido que circulará por el interior de estos, se puede proceder al dimensionado de la instalación resolviendo el sistema de ecuaciones. Para ello se sabe que los datos de partida son:

- Radiación sobre el plano horizontal con la que se obtiene la radiación para el plano inclinado.
- Rendimiento del colector (η_0, a_1, a_2)
- Eficiencia del intercambiador (ϵ_{IC})
- Caudal de consumo (\dot{m}_{cons})
- Temperatura del agua de red (T_{red})
- Temperatura media del ambiente (T_0)
- Densidad de los fluidos ($\rho_{\text{agua-glicol}}, \rho_{\text{agua}}$)
- Calor específico de los fluidos ($c_{\text{agua-glicol}}, c_{\text{agua}}$)
- Temperatura de suministro (T_{sum})
- Contribución solar mínima (f)

Los parámetros que pueden variar son:

- Caudal en el circuito primario (\dot{m}_1)
- Caudal en el circuito secundario (\dot{m}_2)

Las incógnitas que se deben despejar son:

- Temperatura de entrada de los captadores (T_{ci})
- Temperatura de salida de los captadores (T_{co})

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

- Temperatura media del fluido en los captadores (T_m)
- Temperatura de entrada al acumulador (T_{ici})
- Temperatura de salida del acumulador (T_{ico})
- Temperatura de consumo (T_{cons})
- Temperatura media del acumulador (T_t)
- Área de los captadores (A)

Mientras que las ecuaciones que se deben de resolver son las correspondientes a cada elemento de la instalación. A continuación se explicará cuales son y de donde provienen.

Balance de energía en los captadores

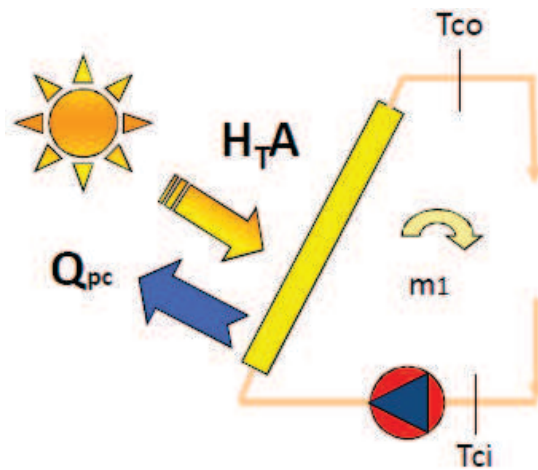


Figura 21. Balance de energía en los captadores [17]

Se debe primero definir que la temperatura media del fluido que circula por el interior de los captadores es:

$$T_m = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (4.27)$$

El balance de energía en el captador es:

$$\frac{dE_c}{dt} = H_T \cdot A_a - \dot{Q}_p - \dot{m}_1 \cdot c \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (4.28)$$

Como el sistema se puede considerar estacionario, el término $\frac{dE_c}{dt} = 0$. Por tanto el balance de energía del captador queda:

$$0 = H_T \cdot A_a - \dot{Q}_p - \dot{m}_1 \cdot c \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (4.29)$$

Sabiendo que la curva de normalización de un captador solar es:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$\eta_c = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{H_T} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \quad (4.30)$$

Donde η_0 el coeficiente de pérdidas ópticas del captador y a_1 y a_2 los coeficientes de pérdidas por conducción y convección.

Otra forma de expresar el rendimiento del captador es como:

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_u}{H_T \cdot A_a} = \frac{\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci})}{H_T \cdot A_a} = 1 - \frac{\dot{Q}_p}{H_T \cdot A_a} \quad (4.31)$$

Por tanto tenemos que las pérdidas de energía en los captadores son:

$$\dot{Q}_p = H_T \cdot A_a \cdot (1 - \eta_c) \quad (4.32)$$

$$\dot{Q}_p = H_T \cdot A_a \cdot \left(1 - \eta_0 + a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{H_T} + a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \right) \quad (4.33)$$

Por tanto el balance de energía en el captador nos una ecuación que se deberá emplear en el sistema:

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = H_T \cdot A_a \cdot \left(1 - \eta_0 + a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{H_T} + a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \right) \quad (4.34)$$

Balance de energía en el intercambiador de calor

Se considera que el intercambiador de calor es simétrico, es decir, que los caudales de ambos fluidos que entran al intercambiador son iguales:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

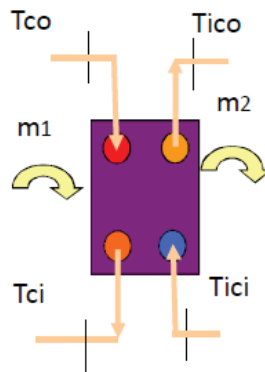


Figura 22. Balance de energía en el intercambiador de calor [17]

El intercambio de calor es un proceso estacionario por lo que el balance de energía es:

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad (4.35)$$

Se decide que la efectividad o eficiencia del intercambiador sea de 0,7. Este factor sirve para medir la transferencia energética del intercambiador frente a lo máximo que podría intercambiar. La eficiencia se define como:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \quad (4.36)$$

Siendo C_{min} el mínimo valor entre $\dot{m}_1 \cdot c_1$ y $\dot{m}_2 \cdot c_2$.

Contribución solar mínima

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada y la demanda energética anual.

Como se ha visto anteriormente, Murcia se encuentra en la zona climática IV. Esto se puede ver en el mapa visto páginas atrás o en la siguiente tabla también obtenida del CTE:

MURCIA	Águilas	V
	Alcantarilla	IV
	Caravaca de la Cruz	V
	Cartagena	IV
	Cieza	V
	Jumilla	V
	Lorca	V
	Molina de Segura	V
	Murcia	IV
	Torre-Pacheco	IV

Tabla 21. Zona climática de Murcia [1]

En la siguiente tabla se indica la contribución solar mínima anual para cada zona climática en función del nivel de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de referencia de 60°C.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 22. Contribución solar mínima [1]

Por tanto, teniendo una demanda diaria de ACS de 18524 l/día y estando en una zona climática IV, la contribución solar mínima anual que se debe garantizar es del 70%.

Para obtener esta contribución solar en el sistema de la instalación térmica, se realiza un balance de energía en el siguiente tramo de instalación:

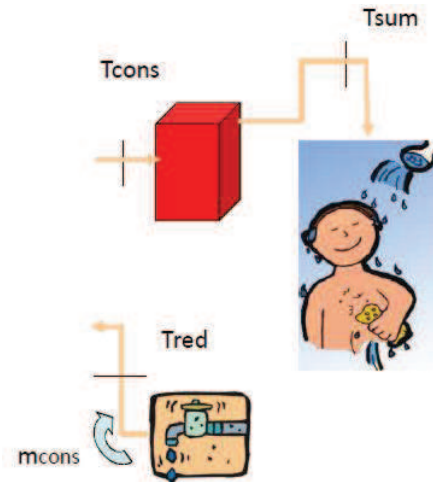


Figura 23. Balance de energía para la contribución solar mínima [17]

$$f = \frac{\dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red})} \quad (4.37)$$

$$f = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} \quad (4.38)$$

Balance de energía en el acumulador

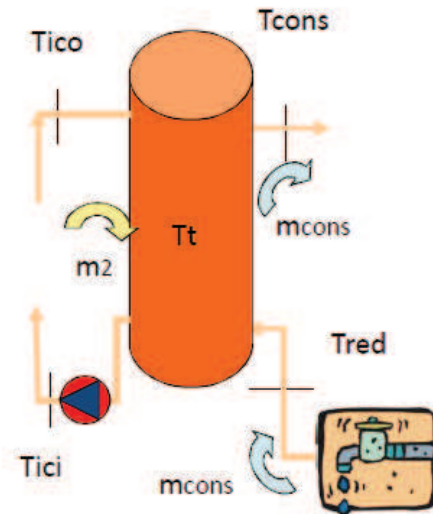


Figura 24. Balance de energía en el acumulador [17]

El balance de energía del acumulador viene definido por la siguiente expresión:

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad (4.39)$$

Grado de estratificación del acumulador

El objetivo de la estratificación térmica es mantener un gradiente de temperatura elevado entre la temperatura del punto más elevado del acumulador (cercano a la salida del agua de

consumo) y la parte inferior de este con la finalidad de aumentar el rendimiento de los captadores solares y además suministrar el agua de consumo a la mayor temperatura posible.

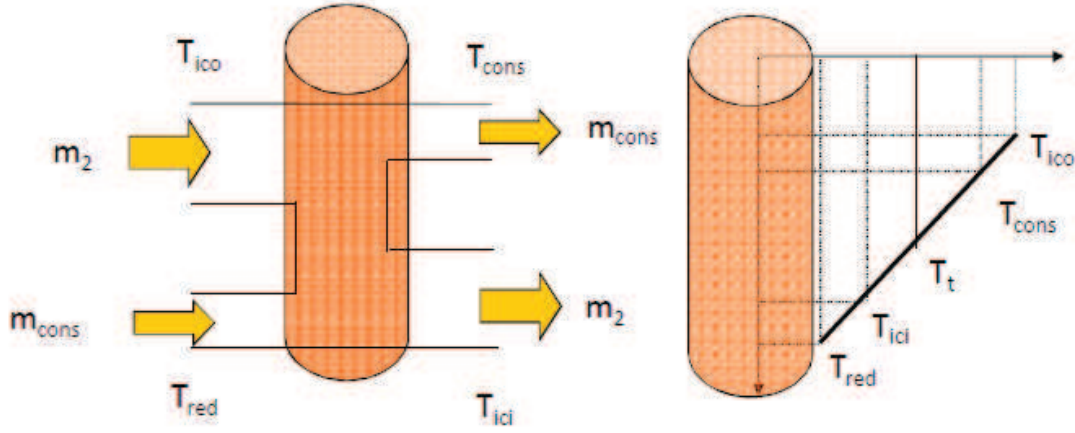


Figura 25. Grado de estratificación del acumulador [17]

Se considera que el tanque está completamente mezclado, por lo tanto:

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot T_{red} = (\dot{m}_2 \cdot c_2 + \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons}) \cdot T_t \quad (4.40)$$

Como el fluido que circula es el mismo (agua):

$$c_2 = c_{cons}$$

La temperatura media del acumulador (T_t) queda definida como:

$$T_t = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (4.41)$$

Como el acumulador tiene que tener estratificación, se tiene que cumplir:

$$0 \leq E_t \leq 1$$

Esto quiere decir que la temperatura de consumo (T_{cons}) debe estar entre la temperatura de salida del acumulador (T_{ico}) y la temperatura media de este (T_t).

$$E_t = 0 \rightarrow T_{cons} = T_t$$

$$E_t = 1 \rightarrow T_{cons} = T_{ico}$$

La temperatura de consumo está definida como:

$$T_{cons} = T_t + (T_{ico} - T_t) \cdot E_t \quad (4.42)$$

Por lo que el grado de estratificación queda expresado como:

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad (4.43)$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

En el diseño de la instalación se ha establecido que el grado de estratificación del acumulador sea de 0,25.

4.5.1.3. Cálculo del área de captadores

El primer paso para poder realizar el diseño de la instalación es saber cuantos captadores solares serán necesarios para aportar la contribución solar mínima, es decir, el 70% según el CTE.

Para ello, primero se estimará un área inicial de captadores que según IDAE se debe estimar en 0,5 m² de captador por persona que habite en el edificio:

$$A_{col} = 0,5 \frac{m^2}{persona} \cdot 842 personas = 421 m^2 \quad (4.44)$$

Para calcular el área de captadores necesaria se usarán valores medios anuales, por lo que se tiene:

Parámetro	Valor
Caudal de consumo (\dot{m}_{cons})	0,4635 kg/s
Irradiación solar media anual (H_T)	510,675 W/m ²
Temperatura de suministro (T_{sum})	333,15 K
Temperatura media de red (T_{red})	285,45 K
Temperatura media ambiente (T_0)	292,45 K
Densidad del agua-glicol (ρ_1)	1003 kg/m ³
Calor específico del agua-glicol (c_1)	3960 J/kg · K
Densidad del agua (ρ_2)	998,2 kg/m ³
Calor específico del agua (c_2)	4182 J/kg · K

Tabla 23. Valores medios anuales de la instalación

El caudal que circula por los captadores será el del valor recomendado por el fabricante, por lo que, según el captador elegido, el caudal del circuito primario será de:

$$\dot{m}_1 = 150 \frac{l}{hr} \cdot \frac{A_{col}}{2,301 m^2} \cdot \rho_1 = 7,646 \frac{kg}{s} \quad (4.45)$$

Se tendrá en cuenta que el intercambiador de calor es simétrico y que por tanto se cumple que:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1$$

Habiendo ya establecido todos estos parámetros se puede resolver el sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas y así saber el área de los captadores. Para ellos, se establecerá como dato la contribución solar mínima, que como se ha visto anteriormente es de 0,7.

Para saber la temperatura de consumo (T_{cons}) se despejará de:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$f = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}} \quad (4.46)$$

De donde se conoce todo menos esta temperatura de consumo, por lo tanto:

$$T_{cons} = f \cdot (T_{sum} - T_{red}) + T_{red} \quad (4.47)$$

$$T_{cons} = 0,7 \cdot (333,15 - 285,45) + 285,15 = 318,84 \text{ K}$$

Sabiendo ya la temperatura del agua de consumo, se calcula la temperatura media del acumulador (T_t) y la temperatura de salida del intercambiador de calor entre el circuito primario y el secundario (T_{ico}):

$$T_t = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (4.48)$$

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad (4.49)$$

Para ello se despejara de la expresión del grado de estratificación la temperatura de salida del intercambiador de calor (T_{ico}) y se resuelve la expresión XX.XX Se tendrá en cuenta que el grado de estratificación del acumulador es de 0,25.

$$T_{ico} = \frac{T_{cons} - T_t}{E_t} + T_t = 4 \cdot T_{cons} - 3 \cdot T_t \quad (4.50)$$

Por lo que tenemos una temperatura media del acumulador de:

$$T_t = \frac{\dot{m}_2 \cdot (4 \cdot T_{cons} - 3 \cdot T_t) + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (4.51)$$

$$T_t = \frac{4 \cdot \dot{m}_2 \cdot T_{cons} + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons} + 3 \cdot \dot{m}_2} = \frac{4 \cdot 7,646 \cdot 318,84 + 0,4635 \cdot 285,45}{4 \cdot 7,646 + 0,4635}$$

$$T_t = 318,342 \text{ K}$$

$$T_{ico} = 4 \cdot T_{cons} - 3 \cdot T_t = 4 \cdot 318,84 - 3 \cdot 318,342$$

$$T_{ico} = 320,335 \text{ K}$$

Con el balance de energía del acumulador se obtiene la temperatura de entrada al intercambiador (T_{ici}):

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad (4.52)$$

$$T_{ici} = T_{ico} - \frac{\dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{\dot{m}_2 \cdot c_2} = 320,335 - \frac{0,4635 \cdot 4182 \cdot (318,84 - 285,45)}{7,646 \cdot 4182}$$

$$T_{ici} = 318,311 \text{ K}$$

Como se ha visto anteriormente, se tiene que cumplir que:

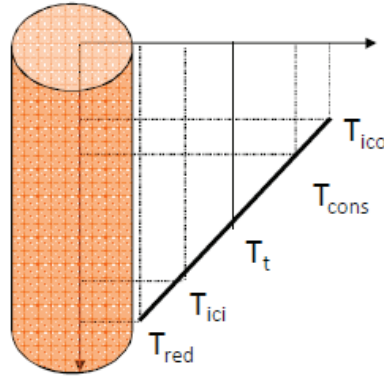


Figura 26. Diagrama de temperaturas del acumulador [17]

$$T_{ico} > T_{cons} > T_t > T_{ici} > T_{red}$$

Verificando esto con los resultados obtenidos hasta ahora, vemos que se cumple:

$$320,335 \text{ K} > 318,84 \text{ K} > 318,342 \text{ K} > 318,311 \text{ K} > 285,45 \text{ K}$$

Por tanto hasta ahora se han calculado las temperaturas del circuito secundario y de consumo, ahora se calculará la temperatura que tendrá el fluido caloportador en el circuito primario así como el área de los colectores necesaria.

La temperatura de salida del captador se obtiene despejando esta de la eficiencia del intercambiador que, como se ha dicho anteriormente, es de 0,7.

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \quad (4.53)$$

Donde $C_{min} = \min(\dot{m}_1 \cdot c_1, \dot{m}_2 \cdot c_2)$

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 = 7,646 \cdot 3960 = 30278,16 \frac{W}{K}$$

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 = 7,646 \cdot 4182 = 31975,572 \frac{W}{K}$$

Por tanto,

$$T_{co} = T_{ici} + \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot \varepsilon_{IC}} = 318,311 + \frac{7,646 \cdot 4182 \cdot (320,335 - 318,311)}{30278,16 \cdot 0,7}$$

$$T_{co} = 321,365 \text{ K}$$

Como el intercambiador es simétrico:

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad (4.54)$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por lo que la temperatura de entrada del fluido a los captadores es de:

$$T_{ci} = T_{co} - \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{\dot{m}_1 \cdot c_1} = 321,365 - \frac{7,646 \cdot 4182 \cdot (320,335 - 318,311)}{7,646 \cdot 3960}$$

$$T_{ci} = 319,227 \text{ K}$$

De esta manera, la temperatura media del fluido dentro de los captadores es de:

$$T_m = \frac{T_{co} + T_{ci}}{2} = \frac{321,365 + 319,227}{2} \quad (4.55)$$

$$T_m = 320,296 \text{ K}$$

Solo queda saber cuantos captadores serán necesarios para satisfacer la demanda energética. Esta área de captadores se obtendrá resolviendo el balance de energía de estos:

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = H_T \cdot A_{col} \cdot \left(1 - \eta_0 + a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{H_T} + a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \right) \quad (4.56)$$

Por lo que el área de los colectores es:

$$A_{col} = \frac{\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci})}{H_T \cdot \left(1 - \eta_0 + a_1 \cdot \frac{(T_m - T_0)}{H_T} + a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \right)} \quad (4.57)$$

Donde los parámetros η_0 , a_1 y a_2 son los coeficientes de la curva de normalización del captador que se instalará en el sistema. Los valores de estos son:

Parámetro	Valor
Coef. de pérdidas ópticas (η_0)	0,753
Coef. de pérdidas por conducción (a_1)	3,91 W/m ² K
Coef. de pérdidas por convección (a_2)	0,003 W/m ² K ²

Tabla 24. Coeficientes de la curva de normalización del captador solar [18]

Por lo que el área necesaria para satisfacer la demanda energética mínima del edificio residencial es de:

$$A_{col} = \frac{7,646 \cdot 3960}{510,675 \cdot \left(1 - 0,753 + 3,91 \cdot \frac{(320,296 - 292,45)}{510,675} + 0,003 \cdot \frac{(320,296 - 292,45)^2}{510,675} \right)}$$

$$A_{col} = 236,787 \text{ m}^2$$

Por tanto, sabiendo que el área individual de cada captador es de 2,49 m², se estima que serán necesarios un total de:

$$n^{\circ capt} = \frac{A_{col}}{2,301} = 103,376$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por tanto, se estima que se necesitan 104 colectores solares, por lo que el área del campo de captadores que se tendrá que instalar en el edificio será de:

$$A_{col} = 239,304 \text{ m}^2$$

4.5.1.4. *Fracción solar mensual*

Una vez estimado el área de captadores necesaria para la instalación, se deberá resolver el mismo sistema de 7 ecuaciones teniendo en cuenta el área de captadores para poder saber cuanto es la contribución del sistema y así comprobar que este campo de captación es válido para satisfacer el CTE. Esta vez la resolución del sistema de ecuaciones se realiza con los datos mensuales de radiación, caudales de consumo y temperaturas ambiente y de red.

Para resolver el sistema de forma más sencilla se puede simplificar la curva del rendimiento del captador en una recta. Esto es así porque el segundo coeficiente de pérdidas del captador es mínimo y por tanto la influencia de este es prácticamente nula.

Sabiendo que la temperatura media del fluido caloportador dentro de los captadores viene expresada por:

$$T_m = \frac{T_{co} + T_{ci}}{2} \quad (4.58)$$

Teniendo en cuenta la simplificación mencionada y la temperatura media del fluido, el balance de energía de los captadores es:

$$c_1 \cdot \dot{m}_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = H_T \cdot A_{col} \cdot \left(\eta_0 - a_1 \cdot \frac{T_{co} + T_{ci} - 2 \cdot T_0}{2 \cdot H_T} \right) \quad (4.59)$$

De donde si se despeja la temperatura de entrada al captador, se tiene:

$$T_{ci} = \frac{A_{col} \cdot (H_T \cdot \eta_0 + T_0 \cdot a_1)}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} - T_{co} \cdot \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} \quad (4.60)$$

La temperatura de salida del colector se puede obtener de despejar en la expresión que define la efectividad del intercambiador:

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ci})} \longrightarrow T_{co} = T_{ici} + \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot \varepsilon_{IC}} \quad (4.61)$$

Resolviendo el sistema de estas dos ecuaciones, se obtiene que:

$$T_{ci} = \frac{A_{col} \cdot (H_T \cdot \eta_0 + T_0 \cdot a_1)}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} - \left[T_{ici} + \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot \varepsilon_{IC}} \right] \cdot \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} \quad (4.62)$$

En donde se tienen 3 incógnitas. Para simplificar la ecuación anterior y dejarla en función de solo dos variables, se despeja la temperatura de entrada de los captadores del balance de

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

energía del intercambiador de calor para posteriormente igualar esta nueva expresión con la anterior.

$$\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \longrightarrow T_{ci} = T_{co} - \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{\dot{m}_1 \cdot c_1} \quad (4.63)$$

Sabiendo que la temperatura de salida de los captadores está definida por la ecuación 4.61, se tiene que:

$$T_{ci} = T_{ici} + \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot \varepsilon_{IC}} - \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{\dot{m}_1 \cdot c_1} \quad (4.64)$$

Teniendo en cuenta que $C_{min} = \dot{m}_1 \cdot c_1$:

$$T_{ci} = T_{ici} + \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{\dot{m}_1 \cdot c_1} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{IC}} - 1 \right) \quad (4.65)$$

Por lo que igualando las ecuaciones 4.63 y 4.65 se obtiene que la temperatura a la salida del intercambiador de calor viene definida por:

$$T_{ico} = T_{ici} + \frac{\frac{A_{col} \cdot (H_T \cdot \eta_0 + T_0 \cdot a_1)}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} - T_{ici} \cdot \left[1 + \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} \right]}{\frac{c_2 \cdot \dot{m}_2}{c_1 \cdot \dot{m}_1} \cdot \left[\frac{1}{\varepsilon_{IC}} \cdot \left(1 + \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} \right) - 1 \right]} \quad (4.66)$$

Una vez se ha alcanzado este punto, se resuelve el sistema formado por las expresiones del grado de estratificación y por la expresión que define la temperatura media del acumulador despejando de este sistema a la temperatura de consumo.

$$T_t = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_{ico} + \dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad (4.67)$$

$$E_t = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \longrightarrow T_{cons} = E_t \cdot (T_{ico} - T_t) + T_t \quad (4.68)$$

$$T_{cons} = T_{ico} \cdot \left[E_t + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \cdot (1 - E_t) \right] + \frac{\dot{m}_{cons} \cdot T_{red}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \cdot (1 - E_t) \quad (4.69)$$

Con esta expresión y con la del balance de energía del acumulador, se obtiene otra ecuación que define la temperatura de salida del intercambiador de calor.

$$\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad (4.70)$$

$$T_{ico} = \frac{\dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot T_{ici} + \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot T_{red} \cdot \left[\frac{\dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \cdot (1 - E_t) - 1 \right]}{\dot{m}_2 \cdot c_2 - \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot \left[E_t + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \cdot (1 - E_t) \right]} \quad (4.71)$$

Para terminar de resolver este sistema de 7 ecuaciones con 7 incógnitas, solo falta igualar las expresiones 4.66 y 4.71 de donde se despeja el valor de la temperatura de entrada al intercambiador de calor. Por tanto esta temperatura viene definida por:

$$T_{ici} = \frac{\frac{\dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot T_{red} \left[\frac{\dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} (1 - E_t) - 1 \right]}{\dot{m}_2 \cdot c_2 - \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \left[E_t + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} (1 - E_t) \right]} - \frac{\frac{A_{col} \cdot (H_T \cdot \eta_0 + T_0 \cdot a_1)}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1}}{\frac{c_2 \cdot \dot{m}_2}{c_1 \cdot \dot{m}_1} \left[\frac{1}{\varepsilon_{IC}} \left(1 + \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} \right) - 1 \right]}}{1 - \frac{1 + \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1}}{\frac{c_2 \cdot \dot{m}_2}{c_1 \cdot \dot{m}_1} \left[\frac{1}{\varepsilon_{IC}} \left(1 + \frac{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} + c_1 \cdot \dot{m}_1}{\frac{A_{col} \cdot a_1}{2} - c_1 \cdot \dot{m}_1} \right) - 1 \right]}} - \frac{c_2 \cdot \dot{m}_2}{\dot{m}_2 \cdot c_2 - \dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \left[E_t + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} (1 - E_t) \right]}} \quad (4.72)$$

Resuelto el sistema, se pueden obtener los resultados de todas las incógnitas para cada mes, así como la fracción solar correspondiente. Sin embargo, se ha utilizado una hoja de *Mathcad* para resolver el sistema para poder así realizar cálculos reiterados mes a mes. En la hoja de *Mathcad* no se ha realizado la simplificación de la curva de rendimiento del captador, por tanto se utilizarán estos resultados.

Para verificar si el área de captadores calculada anteriormente es capaz de cumplir las condiciones establecidas por el CTE en cuanto a fracción solar anual se refiere, no se debe hacer la media aritmética de las fracciones solares obtenidas mes a mes sino que se obtiene de:

$$f_{anual} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{util_i}}{\sum_{i=1}^{12} Q_{cons_i}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} [\dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co_i} - T_{ci_i})]}{\sum_{i=1}^{12} [\dot{m}_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red_i})]} \quad (4.73)$$

Por tanto, con un área de captadores de 239,304 m² se tiene una fracción solar anual de:

$$f = 0,69$$

Como no cumple los requisitos del CTE, será necesario ampliar el área de captación. En total serán necesarios 108 captadores, por lo que el área de captación necesaria será de:

$$A_{col} = 248,508 \text{ m}^2$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Para esta área de captadores los resultados de las distintas temperaturas del sistema solar son:

Mes	T_{ci} [K]	T_{co} [K]	T_m [K]	T_{ici} [K]	T_{ico} [K]	T_{cons} [K]	T_t [K]
Enero	307,890	311,518	309,704	306,335	309,771	307,276	306,445
Febrero	311,778	315,365	313,572	310,241	313,638	311,162	310,337
Marzo	318,260	321,796	320,028	316,745	320,093	317,643	316,827
Abril	320,745	324,429	322,587	319,166	322,655	320,104	319,254
Mayo	323,87	327,581	325,725	322,280	325,793	323,221	322,364
Junio	328,900	332,888	330,894	327,191	330,967	328,200	327,278
Julio	334,686	338,669	336,678	332,979	336,751	333,980	333,057
Agosto	336,809	340,549	338,679	335,207	338,748	336,140	335,271
Septiembre	327,204	330,791	328,997	325,666	329,063	326,569	325,738
Octubre	321,958	325,581	323,769	320,405	323,836	321,324	320,487
Noviembre	313,814	317,410	315,612	312,273	315,678	313,197	312,370
Diciembre	308,727	312,442	310,585	307,135	310,653	308,098	307,246

Tabla 25. Temperaturas mensuales de la instalación

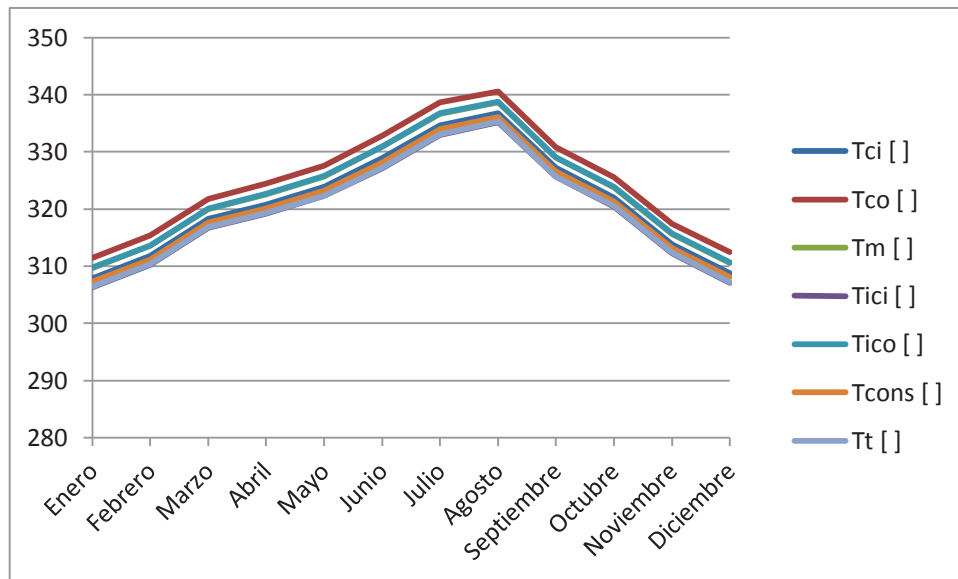


Figura 27. Gráfico de temperaturas de la instalación

Siendo la fracción solar:

Mes	f []
Enero	0,502
Febrero	0,569
Marzo	0,684
Abril	0,722
Mayo	0,784
Junio	0,89
Julio	1,019
Agosto	1,066
Septiembre	0,857
Octubre	0,748
Noviembre	0,593
Diciembre	0,518

Tabla 26. Fracción solar mensual de la instalación

Obteniendo una fracción solar anual de:

$$f = 0,708$$

Como se puede comprobar, la instalación cumple los requisitos establecidos en el CTE respecto a la fracción solar obtenida mensualmente a no superar en ningún mes el 110% y en no más de tres meses seguidos el 100%. Por tanto el campo de captadores dimensionado se puede considerar adecuado para satisfacer las necesidades mínimas establecidas.

El rendimiento de los captadores solares que se consigue en estas condiciones climatológicas y para este campo de captación es de:

Mes	η []
Enero	0,568
Febrero	0,55
Marzo	0,523
Abril	0,528
Mayo	0,528
Junio	0,536
Julio	0,518
Agosto	0,499
Septiembre	0,527
Octubre	0,538
Noviembre	0,554
Diciembre	0,571

Tabla 27. Rendimiento mensual de la instalación

Obteniendo un rendimiento medio anual de:

$$\eta = 0,537$$

Como se puede comprobar, el rendimiento de la instalación cumple con los requisitos del CTE pues este es mayor del 40% todos los meses del año.

4.5.1.5. *Conexión de los captadores*

Uno de los puntos importantes a la hora de diseñar una instalación solar térmica es elegir la forma en que se conectarán los captadores entre sí.

Para que el caudal se distribuya de forma uniforme por todos los captadores de una instalación hay que disponer las conexiones de forma que se realice el llamado “retorno invertido” para conseguir que el circuito este equilibrado hidráulicamente. El retorno invertido se realiza en la parte fría del circuito ya que así se disminuyen las pérdidas térmicas. Lo que se consigue con esta técnica es que las pérdidas de carga a través de cada uno de los captadores sea la misma, y por tanto, los caudales que circulan sean idénticos. También se puede conseguir un equilibrio hidráulico con válvulas de equilibrio. A continuación se muestra gráficamente la diferencia entre un circuito equilibrado y otro no.

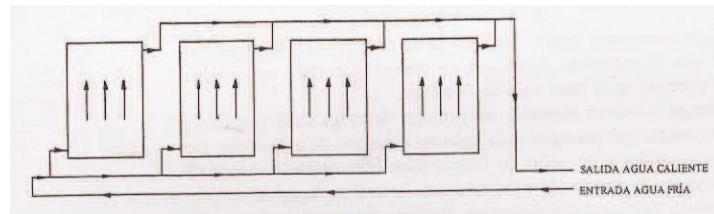


Figura 28. Configuración de colectores con retorno invertido [10]

Los captadores se pueden conectar en paralelo, en serie o de forma mixta. El comportamiento de los captadores variará en función del caudal circulante y de la temperatura de entrada a los mismos. Se ha de tener en cuenta que según aumenta la temperatura de entrada en los captadores, el rendimiento de este va disminuyendo.

La conexión en paralelo proporciona funcionamientos térmicos similares en todos ellos. No obstante existe el inconveniente de que el número de colectores que se pueden conectar se encuentra limitado por las especificaciones del fabricante. Las configuraciones en paralelo pueden ser bien entre colectores o entre baterías de colectores. Este tipo de conexión es que se puede encontrar con mayor frecuencia para optimizar el rendimiento de la instalación.

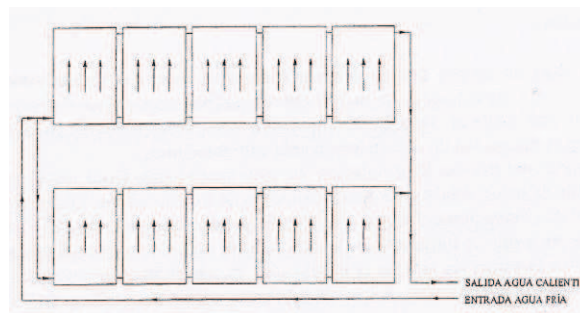


Figura 29. Configuración de colectores en paralelo [10]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

La conexión en serie se usa cuando se desean temperaturas relativamente altas, aún a costa de un menor rendimiento. El funcionamiento de este tipo de conexión resulta de hacer circular el fluido por todos los captadores, es decir, que después de pasar el fluido por uno de los colectores es introducido en el siguiente donde entra con una temperatura mayor que el colector anterior. Con este tipo de conexión se consiguen unos caudales totales menores y por tanto unos diámetros de tuberías menores, así como los recorridos y el tamaño de las bombas de impulsión.

Según el CTE se podrán conectar en serie hasta 10 m^2 de superficie de captadores en las zonas climáticas I y II, hasta 8 m^2 en la zona III, y en hasta 6 m^2 en las zonas IV y V.

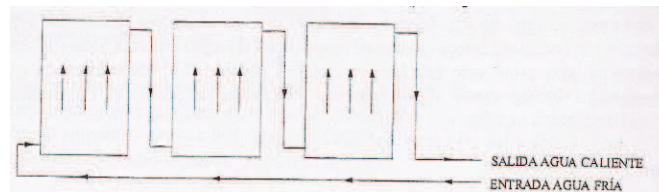


Figura 30. Configuración de colectores en serie [10]

La conexión mixta se basa en la combinación de los dos esquemas explicados anteriormente. Este tipo de configuración no es nada común y únicamente puede tener sentido en instalaciones con superficies de captación muy grandes en los que las temperaturas deseadas sean también elevadas.

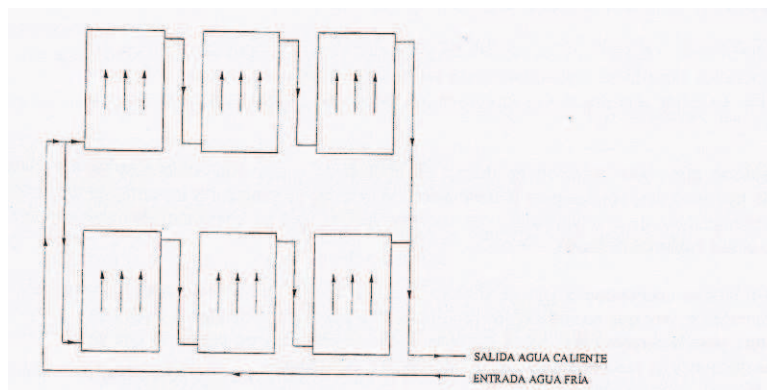


Figura 31. Configuración de colectores en serie-paralelo [10]

En la instalación que se está llevando a cabo se seguirán los criterios establecidos por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y el Código Técnico de la Edificación (CTE) donde se dice que los captadores se conectarán entre sí en paralelo formando filas que a su vez interconectan entre sí también en paralelo.

Al tener una instalación grande se ha decidido dividir esta en dos puesto que se han colocado los captadores de forma simétrica en la azotea del edificio como se refleja en la siguiente imagen.

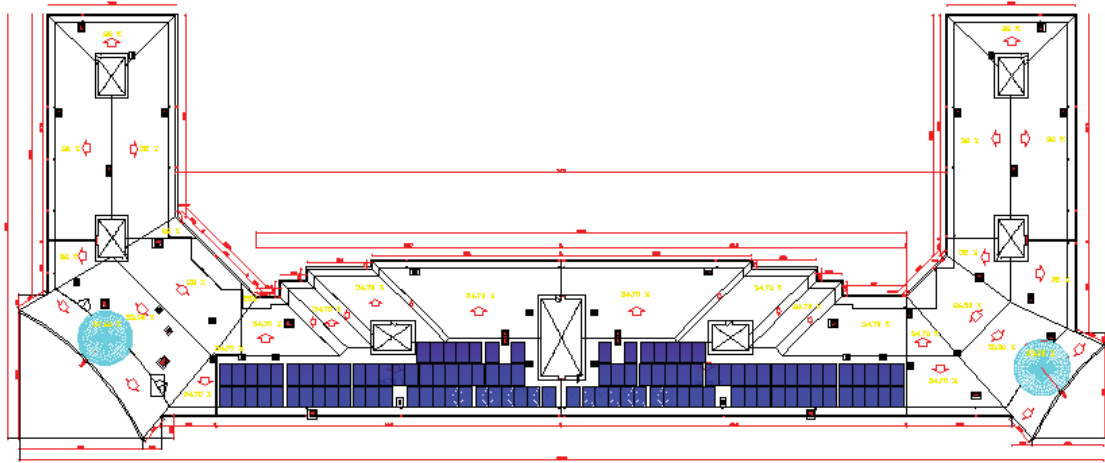


Figura 32. Ubicación de los colectores en la azotea

Por tanto la instalación queda dividida en dos de 54 captadores cada una de forma que ambas son simétricas e idénticas. Esto será importante para dimensionar el resto de elementos de la instalación puesto que así estos podrán ser más pequeños y por tanto más económicos.

4.5.1.6. *Calculo de sombras*

Comprobado que la instalación cumple las condiciones establecidas por el CTE, se verifica que las sombras que se generan debidas a las chimeneas que sobresalen en la azotea no afectan a lo captadores. Es decir, se calcula la sombra que estas generan para así colocar los captadores en zonas en las que no se vean afectadas.

Para ello se siguen las indicaciones del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) en el documento de Instrucción Técnica Complementaria (ITE 10.1.3.2), donde se dice que la distancia entre la primera fila de colectores y los obstáculos (de altura a) que puedan producir sombras sobre las superficies captadoras debe ser mayor que el valor obtenido mediante la expresión:

$$d = 1,732 \cdot a \quad (4.74)$$

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, el edificio tiene 8 chimeneas en la azotea que producen sombra sobre la zona donde se va a ubicar el campo de captadores. Además se observa que la disposición de estas es de forma simétrica.

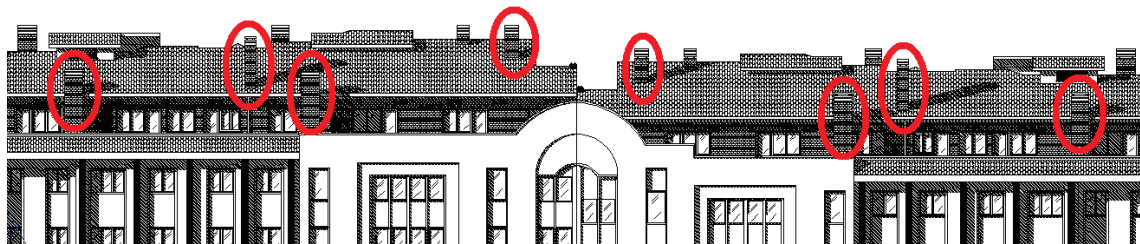


Figura 33. Chimeneas de la azotea

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Como se ve en el siguiente zoom de la imagen, hay tres tipos de chimeneas. Por tanto se deberá calcular la sombra que genera cada tipo de ellas sobre la azotea.



Figura 34. Zoom de las chimeneas de la azotea

Sabiendo la altura de estas chimeneas, se calcula la sombra que generan a los captadores más cercanos en las horas de cercanas al ocaso y al orto, cuando la sombra de los obstáculos sea máxima.

Por tanto, sabiendo que las chimeneas colocadas en la zona más exterior de la azotea, las señaladas con un círculo rojo, tienen una altura de 1,15 metros, la sombra que generan es:

$$d_1 = 1,732 \cdot 1,15 = 1,9918 \text{ m}$$

Mientras que las chimeneas más altas, las situadas en la zona central del campo de captadores, señaladas en naranja, tienen una altura de 2,4362 metros, y por tanto la sombra es de:

$$d_2 = 1,732 \cdot 2,4362 = 4,2195 \text{ m}$$

Por último, las chimeneas situadas en la zona más central de la azotea y señaladas con un círculo azul, tienen una altura de 1,598 metros y generan una sombra máxima de:

$$d_3 = 1,732 \cdot 1,598 = 2,7677 \text{ m}$$

Observando estas distancias en el plano de la azotea con los captadores ya ubicados se puede estimar que el número máximo de colectores que se ven afectados por las chimeneas es de 6 y por tanto la pérdida que se produce por sombras es de aproximadamente 5,5%. Este valor es inferior al máximo permitido en el CTE.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 28. Pérdidas límite [1]

En la tabla anterior se consideran tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio. Por tanto, como el caso de este

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

proyecto es de superposición arquitectónica al estar aprovechando la inclinación de la azotea, las pérdidas debidas a sombras deben ser como máximo un 15%.

Estas pérdidas se pueden tener en cuenta en la radiación que reciben los captadores o bien se pueden despreciar debido a que pocas veces será este valor puesto que la posición del Sol varía a lo largo del día y por tanto las sombras también.

Como generalmente las pérdidas debidas a las sombras serán más pequeñas que la calculada, se ha decidido despreciar estas pérdidas puesto que disminuirían la radiación directa pero no la difusa y por tanto el cálculo real de estas pérdidas sería excesivamente complicado y la variación de la irradiación sería prácticamente despreciable.

4.5.1.7. Tuberías

A la hora de seleccionar el material de una tubería se ha de tener en cuenta la compatibilidad de este con el fluido que circula por el interior, además de tener en cuenta el comportamiento dentro del rango de temperaturas y presiones de trabajo, resistencia a corrosión, facilidad de instalación, durabilidad, etc.

El sistema de tuberías y el material de estos, deben ser tal que no exista la posibilidad de obstrucciones o depósitos de cal para las condiciones de trabajo.

En sistemas indirectos como es este caso, las tuberías del circuito primario pueden ser de materiales como el acero negro, el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embreadas. También se admite el uso de material plástico acreditado apto para esta aplicación.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria podrá utilizarse cobre, acero inoxidable o acero galvanizado. Además, podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito y que cumplan las normas UNE que le sean de aplicación y que esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable. Nunca se podrá utilizar tuberías de acero negro para circuitos de agua sanitaria.

Las características más importantes de los materiales más utilizados son:

- ❖ Cobre: es el más aconsejable para instalaciones de energía solar por ser técnicamente idóneo y económicamente competitivo. Tiene una elevada resistencia a la corrosión, es dúctil y maleable. Además su rugosidad es baja, lo que supone que a igual diámetro, tiene una pérdida de carga menor respecto a otros materiales.
- ❖ Acero inoxidable: no se suele utilizar debido a su elevado coste aunque presenta múltiples ventajas. Tiene un excelente comportamiento frente a temperaturas elevadas y respecto a la corrosión, además de una pérdida de carga pequeña, una elevada resistencia mecánica, alta maleabilidad, etc.
- ❖ Tuberías de plástico: tienen cualidades semejantes al cobre. Se pueden usar tuberías de polietileno reticulado siempre que se garantice su uso por encima de temperaturas

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

superiores a 120°C. Se pueden utilizar tubos multicapa (polietileno-aluminio-polietileno) con los que se consigue que a la flexibilidad e inercia química del polietileno se añada estabilidad en la forma y una mayor resistencia a la presión.

- ❖ Acero negro: se pueden emplear en instalaciones solares de gran tamaño y por aquellos circuitos por los que circula agua no potable. No debe emplearse el acero negro en circuitos de distribución de agua caliente sanitaria debido a su escasa resistencia a la corrosión.

Para evitar que las pérdidas de carga sean elevadas, la longitud de tubería del sistema deberá ser lo más corta posible y evitar al máximo los codos. Los tramos de tuberías horizontales deberán tener una pendiente mínima del 1% en el sentido de circulación.

Además se tiene que tener en cuenta que en función de la velocidad del fluido y de la acidez del agua, se deberá cumplir con los siguientes requisitos por criterios sanitarios:

- ❖ Siempre que se utilice acero en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido deberá ser inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo deberá estar comprendido entre 5 y 12.
- ❖ Siempre que se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido deberá ser inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No está permitido usar aluminio para sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Como existe la posibilidad que se alcancen temperaturas superiores a los 65°C, no se permite el empleo de tuberías de acero galvanizado para agua caliente.

En la instalación que se está diseñando se empleará cobre como material de todas las tuberías. De este modo no habrá problemas al unir distintos tramos de tuberías puesto que todo será del mismo material. Se tendrá en cuenta que el conexionado de las tuberías deberá ser sencillo, accesible y desmontable pudiéndose así facilitar futuras modificaciones de la instalación, o bien reparaciones.

Dimensionado

El diámetro de las tuberías se seleccionará de tal forma que la velocidad de circulación del fluido no exceda de 2 m/s en tramos en los que la tubería discurra por locales habitados y 3 m/s cuando las tuberías recorran zonas exteriores o locales no habitados.

Además el dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías no sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

El caudal, la pérdida de carga por rozamiento y la presión en el conducto son las variables para el cálculo de una tubería. En los conductos de ACS podemos considerar la presión nula debido a que la bomba de circulación se encargará de proporcionar la necesaria para poder mover el fluido.

Para calcular el diámetro de las tuberías se usará la ecuación de la continuidad que relaciona el caudal (Q) con la velocidad fluido (v) y la sección del conducto (S).

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4.75)$$

Por lo que el diámetro es:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} \quad (4.76)$$

Por tanto, para el dimensionado del circuito primario, se debe tener en cuenta que el caudal que circula por cada captador es de 150 l/h y que se tienen 54 captadores en cada lado de la azotea puesto que se ha dividido la instalación en dos partes simétricas y por tanto el caudal que se tiene es de:

$$Q = 150 \frac{l}{h \cdot \text{captador}} \cdot 54 \text{ captadores} = 8,1 \cdot 10^3 \frac{l}{h} = 2,25 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Sabiendo además que las tuberías del circuito primario deben tener un diámetro suficiente para que circule el fluido con el caudal recomendado a una velocidad máxima de 2 m/s, el diámetro de estas tuberías será como mínimo de:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi}} = 0,03785 \text{ m} = 37,85 \text{ mm}$$

Obtenido este diámetro interior mínimo que debe tener la tubería, se obtiene el diámetro real entre los valores normalizados que indica la norma UNE-EN 1057:2007+A1 de septiembre de 2010. En esta norma vienen reflejados las medidas recomendadas en los códigos nacionales como se puede observar en la siguiente tabla.

Valores en milímetros

Diámetro exterior nominal <i>d</i>	Espesor de pared nominal <i>e</i>											
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
6		R		R		R						
8		R		R		R						
10		R	R	R		R						
12		R	R	R		R						
14				R		R						
15			R	R		R						
16						R						
18				R		R						
22					R	R	R	R	R			
28					R	R		R	R			
35						R		R	R			
40						R						
42						R		R	R			
54						R		R	R	R		
64										R		
66,7								R		R		
76,1									R	R		
88,9										R		
108									R		R	
133									R			R
159										R		R
219												R
267												R

R Indica las medidas recomendadas en los códigos nacionales de buena práctica. Véase también el anexo A.

Tabla 29. Medidas normalizadas de tuberías de cobre, UNE-EN 1057:2007+A1

Por tanto serán necesarias las tuberías de fontanería y calefacción facilitadas por *FERRESANITARIO GARCIA RUIZ, SA* cuyo diámetro interior es de 42 mm y espesor 1 mm.

Al ser un diámetro mayor, la velocidad por dentro de estos tramos de tubería será:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 2,25 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,042^2} = 1,624 \frac{m}{s}$$

En total serán necesarios 40 metros de tubo por cada tramo vertical de la instalación. Estos tramos son los encargados de unir el campo de captadores con la sala de calderas. Como la instalación está dividida en dos, se requerirán 4 tramos como este siendo 2 de ellos de subida del fluido frío a la salida del intercambiador de calor y los otros dos de bajada de este fluido a la salida de los captadores.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

El fluido caloportante se introduce en los captadores por la zona de debajo de estos por lo que se dividirá cada instalación por filas para suministrar el fluido a todos los captadores por igual. Así pues, cada instalación quedará dividida en 3 tramos de tubería.

El primer tramo, el más bajo de la instalación, está compuesto por 24 captadores colocados en 4 baterías de cinco captadores, en 1 de tres y en un captador individual.

$$Q = 150 \frac{l}{h \cdot \text{captador}} \cdot 24 \text{ captadores} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi}} = 0,02523 \text{ m} = 25,23 \text{ mm}$$

Por tanto el diámetro real que se empleará será de 28 mm de diámetro interior con 1mm de espesor. Con lo que la velocidad del fluido dentro de este tramo será:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,028^2} = 1,624 \frac{m}{s}$$

Para este tramo, como la conexión en paralelo de los captadores se debe realizar con el método de retorno invertido como se explico en el apartado de conexión de los captadores, se necesitarán 180 metros en la instalación completa.

Para el segundo tramos, la fila intermedia de captadores compuesta por 23 captadores agrupados en 4 baterías de cinco captadores y en otra de 3. Por lo que se necesitan tuberías de:

$$Q = 150 \frac{l}{h \cdot \text{captador}} \cdot 23 \text{ captadores} = 9,58 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,58 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \pi}} = 0,0247 \text{ m} = 24,7 \text{ mm}$$

Al igual que para el tramo anterior, se emplearán tuberías de 28 mm de diámetro interior y 1 mm de espesor siendo por lo tanto la velocidad del fluido por el interior de estas tuberías:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 9,58 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0,028^2} = 1,556 \frac{m}{s}$$

En este tramo, al igual que para el primero, se necesitarán 180 metros de tubería. Por lo que la longitud total de tubería con este diámetro interior serán 360 metros.

Para el último tramo del campo de captadores, el ubicado en la zona más alta de la azotea y compuesto por 7 captadores agrupados en 1 batería de cinco y dos individuales, se necesitará una tubería de:

$$Q = 150 \frac{l}{h \cdot \text{captador}} \cdot 7 \text{ captadores} = 2,92 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,92 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \pi}} = 0,01363 \text{ m} = 13,63 \text{ mm}$$

La empresa que proporciona tuberías tiene una con un diámetro interior de 15 mm con espesor de 1 mm que será el que se emplee para este tramo. Con esta tubería el fluido circulará a una velocidad de:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 2,92 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0,015^2} = 1,65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De este tramo serán necesarios un total de 72 metros en toda la instalación.

En resumen serán necesarias las siguientes longitudes de tubería para el circuito primario.

Dimensiones	Longitud
42 x 1 mm	160 m
28 x 1 mm	360 m
15 x 1 mm	72 m

Tabla 30. Longitudes de tubería en el circuito primario

Elementos auxiliares

Existen otros elementos que deberán ser instalados en el circuito hidráulico para garantizar la seguridad de la instalación.

El circuito primario y el secundario deberán ir provistos de válvulas de seguridad taradas a una presión que garantice que en cualquier punto del circuito no se superará la presión máxima de trabajo de los componentes. Con estas válvulas se pretende proteger los componentes de la instalación. En el caso de alcanzar la presión de apertura de la válvula, esta permitirá la salida de fluido al exterior, reduciendo así la presión en el circuito. Se deberá garantizar que estas descargas no provoquen accidentes o daños. Las válvulas que se usan para esta aplicación son válvulas de resorte.



Figura 35. Válvula de seguridad [14]

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores se colocarán sistemas de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. Según el CTE deberán soportar temperaturas de 150°C en zonas climáticas IV como lo es Murcia. Por

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

seguridad se emplearan purgadores manuales de alta temperatura los cuales son válvulas de esfera o de macho.



Figura 36. Purgador manual [14]

Se colocarán sistemas antirretorno en los circuitos primario y secundario para evitar la circulación inversa. Estas válvulas solo permitirán el paso del fluido en un sentido y se colocarán en todos los puntos donde se quieran evitar posibles retornos. En una instalación forzada como esta se deberá colocar aguas debajo de la bomba de circulación. Se usan válvulas de disco de doble compuerta.



Figura 37. Válvula antirretorno [14]

Se montarán válvulas de corte para facilitar la sustitución o reparación de componentes sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación. En instalaciones solares se emplean válvulas de esfera para esta aplicación las cuales deberán ser capaces de independizar las baterías de captadores, el intercambiador, el acumulador y la bomba.

Se deberán instalar también válvulas de llenado que permitan llenar la instalación con el fluido seleccionado. Las válvulas que se usan para esta aplicación son válvulas de esfera.

Se instalarán válvulas de vaciado que se colocarán en el punto más bajo de la instalación para que el vaciado se produzca por gravedad. Se usan válvulas de esfera o de macho.



Figura 38. Válvula de esfera [14]

El caudal se deberá mantener constante por lo que se deberán instalar válvulas de equilibrado que regulen y limiten el caudal aunque haya variaciones de presión. Se usan válvulas de asiento para este tipo de aplicación.



Figura 39. Válvula de asiento [14]

Se estima que en la instalación se instalen el siguiente número de elementos.

Elemento	Tipo de válvula	Cantidad
Purgador	Esfera	28
Válvula de corte	Esfera	32
Válvula de seguridad	Resorte	32
Válvula antirretorno	Disco de doble compuerta	2
Válvula de llenado	Esfera	2
Válvula de vaciado	Esfera	2
Válvula de equilibrado	Asiento	2

Tabla 31. Cantidad y tipo de válvulas necesarias

Aislamiento

Tanto las tuberías como los accesorios hidráulicos de una instalación solar térmica mantienen temperaturas superiores a la del ambiente por lo que se producen pérdidas de calor en el sistema, ya sea por conducción, por convección o por radiación. De estas, las de mayor importancia son las de convección, puesto que la diferencia entre la temperatura que pueden alcanzar los elementos del sistema hidráulico y el ambiente puede ser elevada.

Estas pérdidas de calor provocan una reducción del rendimiento del sistema, especialmente en aquellas épocas del año en las que al ser menor la irradiación lo es también la potencia que

éste es capaz de aportar. Por este motivo es fundamental dotar al sistema de un aislamiento apropiado.

Las características que debe tener el aislamiento varían en función del elemento que se aísla. Los espesores de aislamiento de tuberías y accesorios situados en el interior del edificio serán como mínimo los indicados en la tabla **XX**, estos valores están calculados para una conductividad térmica de referencia de 0,04 W/m·K.

Diámetro exterior (mm)				Temperatura máxima del fluido (°C)		
				40...60	> 60...100	> 100...180
	D	≤	35	25	25	30
35	<	D	≤ 60	30	30	40
60	<	D	≤ 90	30	30	40
90	<	D	≤ 140	30	40	50
140	<	D		35	40	50

Tabla 32. Espesores mínimos de aislamiento [mm] de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios [7]

Se deberá tener en cuenta que las tuberías y accesorios que discurren por el exterior del edificio deberán tener un espesor 10 mm superior a los indicados en la tabla anterior.

Por tanto se emplearán los aislantes para tuberías de la marca ISOPIPE, en particular los ISOPIPE UV PLUS con los diámetros interiores de cada tipo de tubería de la instalación (15mm, 28mm y 42mm) con su correspondiente espesor según sea una tubería interna o externa al edificio. Este tipo de aislante es excelente contra radiación ultravioleta.



Figura 40. Aislamiento de las tuberías [16]

4.5.1.8. Intercambiador de calor

Un intercambiador de calor tiene la misión de realizar la transferencia de energía entre dos fluidos a distintas temperaturas separados por una pared rígida sin que se produzca una mezcla de líquidos.

El uso de intercambiadores de calor se realiza cuando se quieren tener dos circuitos independientes y por tanto cuando los fluidos de trabajo son distintos. Sin embargo, el uso de intercambiadores presenta tres inconvenientes tales como una disminución del rendimiento del sistema, una elevación del coste de la instalación y que, cuando por una de las ramas del

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

intercambiador circula un fluido no potable, los intercambiadores están sometidos a normativas más estrictas.

Los intercambiadores de calor que se emplean para instalaciones de ACS se pueden clasificar según:

- Su posición:
 - Interiores al depósito
 - Exteriores al depósito
- Su construcción
 - De serpentín
 - De haz tubular
 - De doble envolvente
 - De placas
- Por su régimen de funcionamiento
 - Circuitos con configuración de termosifón (circulación natural)
 - Circuito con circulación forzada

Los intercambiadores de calor internos al depósito son aquellos en los que la transferencia de energía se realiza en el acumulador de ACS, pudiendo ser este tipo de intercambiadores o de serpentín o de doble envolvente.

Los intercambiadores de calor de tipo serpentín se caracterizan por ser un rollo de tubería que se encuentra sumergido dentro del tanque de acumulación. Por el interior de este tubo circula el fluido caliente procedente de los captadores solares realizando la transferencia térmica al agua contenida en el acumulador.

Este tipo de intercambiador se utiliza en instalaciones pequeñas y medianas y debe existir una proporción mínima entre la superficie útil de intercambio y la superficie de captación de modo que no sea inferior al 15%. No obstante, se recomienda que dicha relación alcance valores mínimos de 25% para volúmenes medios de acumulación y el 33% para volúmenes pequeños.

Los intercambiadores de calor de doble envolvente constan de una capa cilíndrica concéntrica alrededor del mismo, es decir, se trata de una configuración *tank-in-tank*, un depósito situado en el interior de otro de modo que la pared intermedia entre ambos sea la superficie de intercambio térmico. En este caso el fluido del circuito primario ocupa el espacio exterior, rodeando el volumen almacenado en el secundario.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

El rendimiento de este tipo de intercambiadores es muy bueno, sin embargo tienen un coste elevado debido a la cantidad de fluido caloportador que se necesita. Se utiliza este tipo de intercambiador para instalaciones pequeñas y en especial en las de termosifón.

Los intercambiadores de calor externos son aquellos que se ubican fuera del depósito de acumulación. Los más utilizados son los intercambiadores de placas, los cuales consisten en un conjunto de placas metálicas que se mantiene unidas mediante presión en un bastidor y selladas por medio de una junta de manera que se forman una serie de pasillos interconectados por los que circula el fluido.

El hecho de que se sitúen fuera del depósito de acumulación hace que se requieran bombas de circulación para ambos circuitos (primario y secundario). Sin embargo, el uso de este tipo de intercambiador presenta una serie de ventajas tales como:

- El mantenimiento es muy sencillo por ser un elemento reemplazable y desmontable de modo simple.
- Su empleo permite ampliar la potencia de intercambio de una instalación existente, al ser posible bien aumentar el número de placas del elemento o bien sus sustitución por otro con mayor capacidad.
- Tienen un rendimiento aceptable.
- El material con el que se fabrican es de alta calidad y durabilidad.

El uso de este tipo de intercambiador es muy habitual para instalaciones con volúmenes de acumulación superiores a los 1000 litros, por tanto será el tipo de intercambiador que se empleará en el diseño de esta instalación.

La circulación de los fluidos por dentro de los intercambiadores de placas puede tener lugar en el mismo sentido (equicorriente) o en sentido contrario (contracorriente), recomendándose la utilización de modelos contracorriente.

Los dos parámetros que mejor caracterizan a un intercambiador son el rendimiento y la eficiencia de intercambio.

El rendimiento es el cociente entre la energía obtenida y la introducida. El rendimiento cuantifica las pérdidas térmicas y por tanto debe ser mayor o igual del 95%.

La eficiencia se define como la relación entre la potencia intercambiada y la máxima que teóricamente podría intercambiar. La eficiencia depende del área de intercambio, de la forma y geometría de la misma y del material.

Para un determinado caudal, la eficiencia es una constante comprendida entre 0 y 1. Además, la eficiencia debe ser mayor de 0,7. Es por ello que se diseñará la instalación para este valor de eficiencia, considerando que es el peor de los casos en cuanto al intercambiador de calor.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Dimensionado

Para la instalación en cuestión se elige un intercambiador de placas de la marca *Alfa Laval* cuyas características se muestran en la siguiente tabla:

Alfa Laval M6M-FG	
Espesor de la placa (e_p)	0,5 mm
Altura de la placa (L_p)	920 mm
Ancho de la placa (w)	320 mm
Separación entre placas (b)	2,4 mm
Conductividad térmica k_{Al}	15 W/m·K

Tabla 33. Características del intercambiador de placas [15]



Figura 41. Intercambiador de calor M6 de Alfa Laval [15]

Por tanto, para saber cuantas placas se necesitan para transferir el 70% de la energía térmica del fluido caloportador al agua del circuito secundario, se necesita saber cuanto es el calor intercambiado y el coeficiente global de transferencia de calor de las placas con estos fluidos de trabajo.

El calor intercambiado es:

$$Q_{IC} = \dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad (4.77)$$

En donde las temperaturas empleadas serán las medias anuales de la instalación. Con lo cuál, el calor que se intercambia es:

$$Q_{IC} = 33,05 \text{ kW}$$

El coeficiente global de transferencia se expresa con la siguiente expresión:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$U = \left(\frac{1}{h_1} + \frac{e_p}{k_{AI}} + \frac{1}{h_2} + R_{ens1} + R_{ens2} \right)^{-1} \quad (4.78)$$

Siendo:

h_1 y h_2 los coeficientes de convección del fluido del circuito primario y del secundario respectivamente.

R_{ens1} y R_{ens2} los coeficientes de ensuciamiento de los fluidos. La suma de estos se tomará como $3 \cdot 10^{-5} \frac{m^2 \cdot K}{W}$.

Con lo cual se deben calcular los coeficientes de convección. Estos vienen expresados por:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L_c} \quad (4.79)$$

Donde

L_c es la longitud característica de las placas del intercambiador. Esta longitud viene definida por:

$$L_c = \frac{4 \cdot S_c}{P_c} = \frac{4 \cdot b \cdot w}{2 \cdot w} = 2 \cdot b \quad (4.80)$$

$$L_c = 4,8 \text{ mm}$$

Mientras que el valor del *Nusselt* para cada fluido se obtiene de:

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,64} \cdot Pr^{0,4} \quad (4.81)$$

Siendo:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} \quad (4.82)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L_c}{\mu} \quad (4.83)$$

Por tanto se deberá saber a que velocidad circulan los fluidos por dentro del intercambiador.

$$v = \frac{\dot{m}_{canal}}{\rho \cdot A_{canal}} = \frac{\dot{m}_{canal}}{\rho \cdot b \cdot w} \quad (4.84)$$

Siendo el caudal de cada canal:

$$\dot{m}_{canal} = \frac{2 \cdot \dot{m}}{N-1} \quad (4.85)$$

Donde N es el número de placas que se necesitan para conseguir una eficiencia del 70%. Como este valor es la incógnita, se estimará un valor inicial de 50 y se iterará hasta conseguir el valor exacto de placas necesarias.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por lo que, sabiendo la geometría del intercambiador de placas y las propiedades del fluido, se puede saber cuanto es el coeficiente global de transferencia.

Obtenido el valor del coeficiente global de transferencia y del calor transferido, se puede calcular el área de intercambio necesaria despejando esta de:

$$Q_{IC} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (4.86)$$

En donde

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{co}-T_{ico})-(T_{ci}-T_{ici})}{\ln\left(\frac{T_{co}-T_{ico}}{T_{ci}-T_{ici}}\right)} = 1,681 \text{ K} \quad (4.87)$$

Por lo que:

$$A = \frac{Q_{IC}}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad (4.88)$$

Sabiendo el área de intercambio necesaria, se puede saber de cuantas placas tiene que estar compuesto el intercambiador.

$$N = \frac{A}{A_{placa}} = \frac{A}{w \cdot L_p} \quad (4.89)$$

Por tanto, para saber cuantas placas se necesitan para transferir el calor del circuito primario al secundario con una eficiencia del 70% se itera la cantidad de estas hasta que el valor coincida.

Una vez realizadas las iteraciones, se observa que serán necesarias 16 placas en el intercambiador de calor por lo que los resultados de las ecuaciones anteriores serán:

$$\dot{m}_{canal} = \frac{2 \cdot \dot{m}}{N - 1} = 0,265 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$v_1 = \frac{\dot{m}_{canal}}{\rho_1 \cdot A_{canal}} = 0,345 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad Re_1 = \frac{\rho_1 \cdot v_1 \cdot L_c}{\mu_1} = 1659 \quad Pr_1 = \frac{\mu_1 \cdot c_1}{k_1} = 7,459$$

$$Nu_1 = 0,4 \cdot Re_1^{0,64} \cdot Pr_1^{0,4} = 103,238 \quad h_1 = \frac{Nu_1 \cdot k_1}{L_c} = 11292 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$v_2 = \frac{\dot{m}_{canal}}{\rho_2 \cdot A_{canal}} = 0,346 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad Re_2 = \frac{\rho_2 \cdot v_2 \cdot L_c}{\mu_2} = 1654 \quad Pr_2 = \frac{\mu_2 \cdot c_2}{k_2} = 6,991$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$Nu_2 = 0,4 \cdot Re_2^{0,64} \cdot Pr_2^{0,4} = 99,955 \quad h_2 = \frac{Nu_2 \cdot k_2}{L_c} = 12494 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U = \left(\frac{1}{h_1} + \frac{e_p}{k_{AI}} + \frac{1}{h_2} + R_{ens1} + R_{ens2} \right)^{-1} = 4312 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Por lo que el área de intercambio de calor será:

$$A = \frac{Q_{IC}}{U \cdot \Delta T_{lm}} = 4,559 m^2$$

Y el número de placas como se ha dicho anteriormente:

$$N = \frac{A}{A_{placa}} = 15,487$$

Es decir, 16 placas.

4.5.1.9. Bomba de circulación

Las bombas de circulación son aparatos accionados por un motor eléctrico capaces de suministrar al fluido una cantidad de energía con el fin de transportarlo por un circuito abierto o cerrado a una determinada presión. Esta energía debe vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería y mantener la presión deseada en cualquier punto de la instalación.

En circuitos cerrados, como el circuito primario de la instalación solar, la bomba de circulación solo debe suplir la energía disipada por la pérdida de carga del fluido a lo largo del circuito y no producir la presión hidrostática.

El empleo de bombas de circulación en esta instalación será para garantizar el movimiento del fluido entre los colectores y el intercambiador de calor. Este movimiento del fluido desde la zona de captación a la del intercambiador es el que permite una adecuada transferencia de calor.

Por razones de seguridad e higiene, en lo que respecta a materiales, en circuitos de ACS, los materiales de la bomba deberán ser resistentes a la corrosión. Además se deberán ubicar en las zonas más frías del circuito y en tramos de tuberías verticales, evitando las zonas más bajas del circuito.

En instalaciones con superficie de captación mayor de 50 m², como el caso que se está llevando a cabo, se montarán dos bombas idénticas en paralelo, una de ellas de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. El funcionamiento de estas será alternado ya sea de forma manual o automática.

La forma práctica de seleccionar una bomba de circulación es utilizando las curvas de caudal-presión que proporcionan los fabricantes. Para ello, previamente se debe determinar el caudal

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

de circulación y la pérdida de carga total de la instalación. La pérdida de carga de la instalación corresponde a la suma de las pérdidas de carga en captadores, tuberías, accesorios e intercambiadores de calor.

Como se ha explicado, la potencia de la bomba viene definida por:

$$W_b = \frac{\dot{m} \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta} \quad (4.90)$$

Siendo

$$\Delta P = \Delta P_{colec} + \Delta P_{tub} + \Delta P_{IC} \quad (4.91)$$

Las pérdidas en los colectores es un dato proporcionado por el fabricante. Como los captadores están colocados todos en paralelo, las pérdidas serán las que se generan en uno de los captadores. Por tanto el valor de la caída de presión se obtiene de la gráfica que facilita el fabricante.

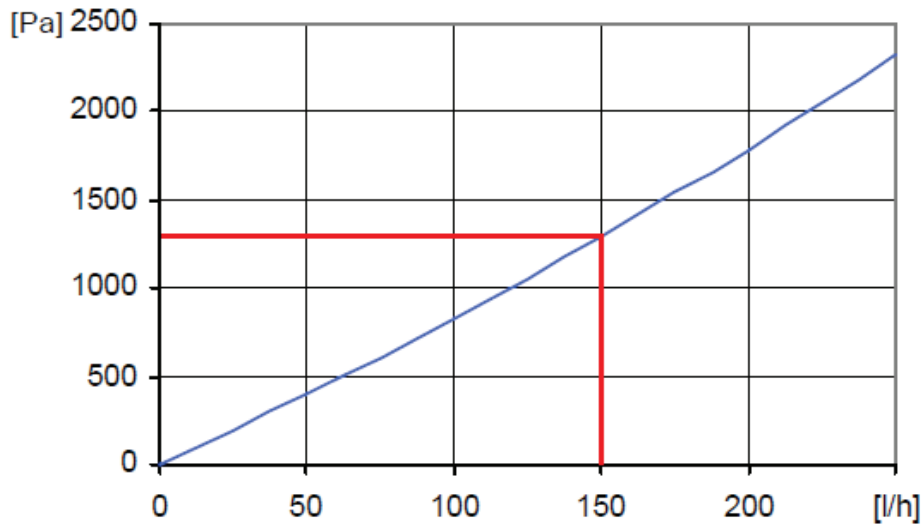


Figura 42. Pérdidas de carga en el captador [18]

Por lo que aproximadamente se tiene que la pérdida de presión en los captadores es de 1300 Pa.

Las pérdidas que se producen en el intercambiador de calor las puede facilitar el fabricante o bien se pueden calcular mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_{IC} = 4 \cdot f \cdot \frac{L}{l_c} \cdot \frac{\rho_1 \cdot u_{canal}^2}{2} \quad (4.92)$$

Siendo

$$f = C \cdot Re^M \quad (4.93)$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Donde los parámetros C y M se obtienen de las correlaciones de Shah y Focke según la siguiente tabla:

	C	M
Re < 10	17	-1
10 < Re < 101	6,29	-0,57
101 < Re < 855	1,141	-0,2
Re > 855	0,581	-0,1

Tabla 34. Parámetros C y M

Por tanto, sabiendo que el fluido caliente que circula por el interior del intercambiador tiene un Reynolds de 1659, el coeficiente f será de:

$$f = 0,581 \cdot 1659^{-0,1} = 0,277$$

Por lo que la pérdida de carga que se produce en el intercambiador de calor es de:

$$\Delta P_{IC} = 4 \cdot 0,277 \cdot \frac{920}{4,8} \cdot \frac{1003 \cdot 0,345^2}{2} = 12643 \text{ Pa}$$

Las pérdidas de carga que se producen en las tuberías de cobre de la instalación se obtienen de la gráfica correspondiente en función del caudal, del diámetro de la tubería y de la velocidad del fluido por el interior de esta.

Para los tramos de tubería de diámetro 42 mm por los que pasa un caudal de 8,1 m³/hr con una velocidad de 1,624 m/s:

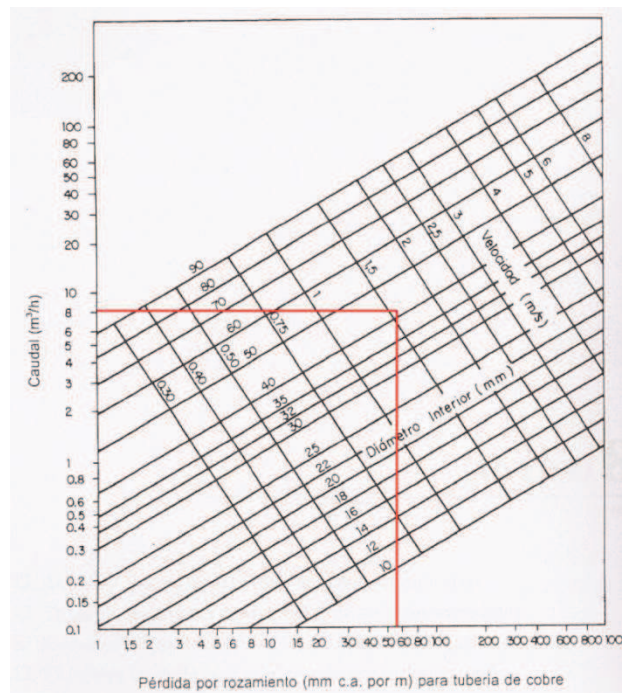


Figura 43. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de cobre ($D_{int}=42\text{mm}$) [9]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por lo que la pérdida de carga para los tramos de tubería con este diámetro y caudal serán de 58 mm.c.a. (milímetros de columna de agua) por metro de tubería.

El coeficiente de pérdidas K_{perd} se obtiene de conocer cuantos son los elementos de la instalación hidráulica, es decir, dependerá del número de codos, válvulas, contracciones, etc. que estén instalados en el circuito. Otra forma es estimar este parámetro entre un 20 y un 30% el valor de la pérdida de carga del tramo de tubería recto. Como saber el número exacto de elementos instalados es complicado, el valor de las pérdidas debidas a los elementos de la instalación se calculará por el segundo método.

$$\Delta P_{\text{tub}}(D = 42 \text{ mm}) = 160\text{m} \cdot 1,3 \cdot 58\text{mmca} \cdot 9,8 \frac{\text{Pa}}{\text{mmca}} = 118,23 \text{ kPa}$$

Para el resto de tramos de tubería de la instalación se realizará el mismo método.

En el tramo de tubería que une 24 captadores solares, es decir, el tramo de diámetro 28 mm, con caudal de $3,6 \text{ m}^3/\text{hr}$ y velocidad $1,624 \text{ m/s}$, se tiene:

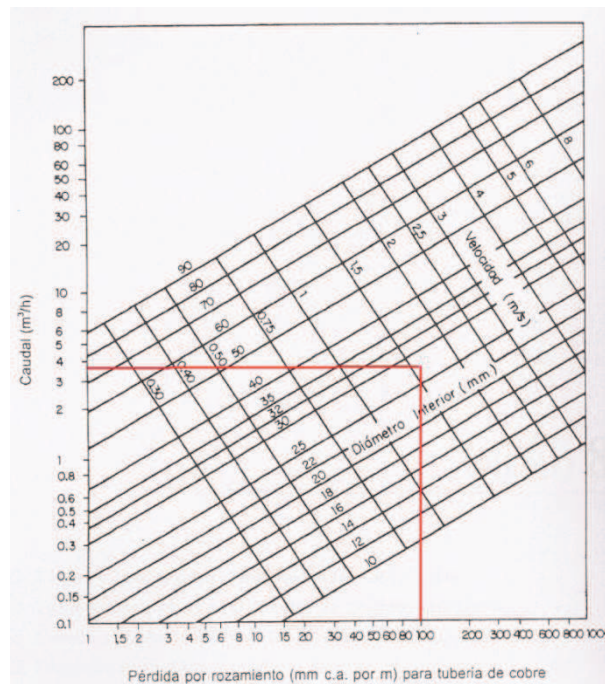


Figura 44. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de cobre (Dint=28mm) [9]

Por lo que se tienen unas pérdidas de 100 mm.c.a. por metro de tubería. Sabiendo que este tramo de tubería es de 180 metros, se tiene que la pérdida de carga es:

$$\Delta P_{\text{tub}}(D = 28 \text{ mm}) = 180\text{m} \cdot 1,3 \cdot 100\text{mmca} \cdot 9,8 \frac{\text{Pa}}{\text{mmca}} = 229,32 \text{ kPa}$$

Mientras que para los otros 180 metros de tubería con este diámetro, por los que circula un caudal de $3,45 \text{ m}^3/\text{hr}$ con una velocidad de $1,556 \text{ m/s}$ para unir 23 captadores en paralelo se tiene una pérdida de carga de:

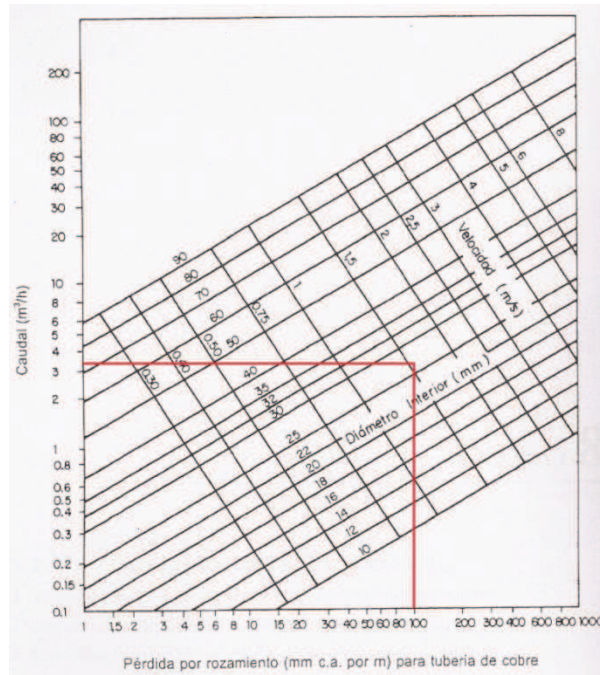


Figura 45. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de cobre (Dint=28mm) [9]

Siendo la pérdida de carga prácticamente la misma que para el tramo anterior es decir:

$$\Delta P_{tub}(D = 28 \text{ mm}) = 180\text{m} \cdot 1,3 \cdot 100\text{mmca} \cdot 9,8 \frac{\text{Pa}}{\text{mmca}} = 229,32 \text{ kPa}$$

El último tramo de tubería encargado de unir 7 captadores paralelamente cuyo diámetro interior es de 15 mm por el que circula un caudal de 1,05 m³/hr a una velocidad de 1,65 m/s, tendrá una pérdida de carga de:

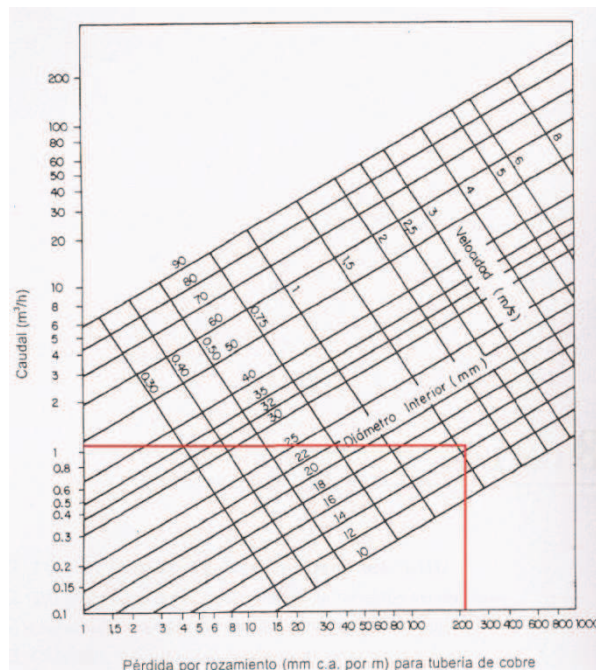


Figura 46. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de cobre (Dint=15mm) [9]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

En el cuál la pérdida de carga es de 220 mm.c.a. por metro de tubería. Por lo que en los 72 metros de tuberías se tendrá:

$$\Delta P_{tub}(D = 15 \text{ mm}) = 72m \cdot 1,3 \cdot 220mmca \cdot 9,8 \frac{Pa}{mmca} = 201,8 \text{ kPa}$$

En total en las tuberías habrá una pérdida de carga de:

$$\Delta P_{tub} = \Delta P_{tub}(D = 42 \text{ mm}) + 2 \cdot \Delta P_{tub}(D = 28 \text{ mm}) + \Delta P_{tub}(D = 15 \text{ mm})$$

$$\Delta P_{tub} = 778,67 \text{ kPa}$$

Por lo que la pérdida de carga en el circuito primario será:

$$\Delta P = \Delta P_{colec} + \Delta P_{tub} + \Delta P_{IC} = 1,3 + 778,67 + 12,643$$

$$\Delta P = 792,613 \text{ kPa}$$

Según la empresa *GRUNDFOS* se necesita una bomba TP 32-380/2 que, para poder elevar el fluido 40 metros de altitud, el rendimiento de la bomba es del 44,8%. La potencia de esta bomba es de 3 kW mientras que la potencia que se necesita es de:

$$W_b = \frac{\dot{m} \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta} = \frac{2,257 \cdot 792613}{1003 \cdot 0,448} = 2,981 \text{ kW}$$



Figura 47. Bomba de impulsión GRUNDFOS TP 32-380/2 [12]

Como la instalación es grande, se deberán colocar dos bombas de circulación en paralelo en cada instalación. Es decir, se necesitan cuatro bombas como esta. El funcionamiento de estas se hará de dos en dos, de tal forma que se garantice el funcionamiento de la instalación en caso de avería de alguna de las bombas de cada instalación.

4.5.1.10. Vasos de expansión

En el circuito primario del sistema hidráulico se producirán cambios de temperatura en el fluido de trabajo por lo que será necesario absorber las dilataciones y contracciones que experimente este. Por tanto siempre será imprescindible disponer de un sistema de expansión.

Para hacerlo se puede, o bien utilizar un sistema de expansión cerrado, en el que se emplean vasos de expansión de tipo membrana elástica presurizados por nitrógeno o aire, o bien optar

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

por un sistema de expansión abierto, en el que se utiliza un vaso abierto, instalado normalmente en un lugar elevado y que además puede servir de sistema de alimentación y purga.

La utilización de vasos de expansión abiertos plantea varios inconvenientes entre los que destaca que el fluido del circuito donde se encuentra el vaso de expansión está en contacto con el aire y por tanto aumenta el riesgo de corrosión de los materiales de la instalación.

El sistema de expansión se diseñará para un volumen de dilatación como mínimo igual al 5% del volumen total de fluido en el circuito primario. Los elementos de expansión se conectarán siempre aguas arriba del conjunto de impulsión.

Dimensionado

El cálculo del vaso de expansión, de acuerdo a la instrucción UNE 100-155, se puede realizar utilizando la ecuación:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_{pre} \quad (4.94)$$

Siendo

V_t el volumen total del vaso de expansión.

V el volumen total de fluido caloportador en el circuito.

C_e el coeficiente de expansión o dilatación del fluido.

C_{pre} el coeficiente de presión que representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión, es decir, la proporción del volumen del vaso de expansión que puede ser ocupado por el fluido de trabajo. Viene definido como: $C_{pre} = \frac{P_{max}+1}{P_{max}-P_{min}}$.

Donde

P_{max} es la presión máxima de funcionamiento admisible en el vaso de expansión y ha de ser inferior a la presión de tarado de la válvula de seguridad del vaso de expansión (P_{vs}) en aproximadamente entre 0,3 y 0,5 bar, por tanto: $P_{max} = P_{vs} - (0,3 \sim 0,5 \text{ bar})$.

La presión de tarado de la válvula de seguridad del vaso de expansión es de 10 bar.

P_{min} es la presión mínima en el vaso de expansión. Debe ser lo suficientemente elevada para evitar la entrada de aire en el circuito. Por este motivo se recomienda que esta presión sea como mínimo 0,5 bar superior a la presión atmosférica en el punto más alto de la instalación, es decir: $P_{min} = 0,5 + P_{estática}$.

Siendo la presión estática: $P_{estática} = h(m) \cdot 0,1 \text{ (bar/m)}$

Donde h es la diferencia de alturas entre el punto más alto de la instalación y el lugar donde se sitúa el vaso de expansión. Por lo que esta altura será 40 metros.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$P_{estática} = 4 \text{ bar}$$

$$P_{min} = 4,5 \text{ bar}$$

$$P_{max} = 9,5$$

Por lo que el coeficiente de presión será:

$$C_{pre} = \frac{P_{max}+1}{P_{max}-P_{min}} = \frac{10,5}{5} = 2,1 \quad (4.95)$$

El volumen del fluido caloportador de toda la instalación será:

$$V = V_{capt} + V_{tub} + V_{IC} \quad (4.96)$$

El volumen de líquido en los captadores viene especificado por el fabricante y en este caso es de 1,6 litros por captador, por tanto:

$$V_{capt} = 1,6 \frac{l}{captador} \cdot 108 \text{ captadores} = 172,8 \text{ l}$$

El volumen de fluido que circula por las tuberías viene definido por la sección de estas por su longitud, es decir, por el volumen de tubería que se tiene.

$$V_{tub} = \sum(L_{tub} \cdot A_{tub}) = \sum\left(L_{tub} \cdot \frac{\pi \cdot D_{int}^2}{4}\right) \quad (4.97)$$

$$V_{tub} = 160 \cdot \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4} + 360 \cdot \frac{\pi \cdot 0,028^2}{4} + 72 \cdot \frac{\pi \cdot 0,015^2}{4}$$

$$V_{tub} = 0,456 \text{ m}^3 = 456,07 \text{ l}$$

Mientras que el volumen de fluido que pasa por los intercambiadores corresponde al volumen de los espacios entre placas. Se recuerda que se tienen 2 intercambiadores idénticos de 16 placas cada uno.

$$V_{IC} = b \cdot L_p \cdot w \cdot N_p \cdot N_{IC} \quad (4.98)$$

$$V_{IC} = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,92 \cdot 0,32 \cdot 16 \cdot 2$$

$$V_{IC} = 0,0226 \text{ m}^3 = 22,61 \text{ l}$$

Por tanto, el volumen de fluido caloportador será:

$$V = V_{capt} + V_{tub} + V_{IC} = 172,8 + 456,07 + 22,61$$

$$V = 651,48 \text{ l}$$

Como la instalación está dividida en dos iguales, el volumen será la mitad en cada instalación teniendo que instalar un vaso de expansión en cada una de ellas.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$V = 325,74 \text{ l}$$

Sabiendo que el fluido que circula por las tuberías del circuito primario es agua con propilenglicol al 25%, se tiene que el coeficiente de dilatación térmica del fluido será algo mayor que la del agua. Para esta concentración de anticongelante se tiene:

$$C_e = 0,032$$

Por lo que el volumen del vaso de expansión deberá ser superior a:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_{pre} = 325,74 \cdot 0,032 \cdot 2,1 \quad (4.99)$$

$$V_t = 21.89 \text{ l}$$

El vaso de expansión que cumple los requisitos es el que proporciona SALVADOR ESCODA con un volumen de 35 litros y una presión máxima de 10 bar. El vaso de expansión que ofrece estas características es el modelo 35 SMR-P de membrana intercambiable.



Figura 48. Vaso de expansión SALVADOR ESCODA 35 SMR-P [14]

4.5.2. Circuito secundario

El circuito secundario estará compuesto por el acumulador solar, el intercambiador que se ha diseñado anteriormente y el sistema hidráulico que une ambos compuesto por tuberías y por una bomba de impulsión.

4.5.2.1. Sistema de acumulación

Debido a que la necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la recibida del Sol y que los sistemas solares de energía solar térmica nunca podrán traer consigo una producción instantánea de agua caliente capaz de compensar las necesidades de consumo, es imprescindible disponer de una acumulación que permita disponer del servicio con independencia de las condiciones de irradiación en cada instante.

Los acumuladores se clasifican en función del sistema de intercambio que tiene la instalación.

- Acumuladores sin intercambiador o de circuito abierto.

Los acumuladores sin intercambiador tienen la única misión de almacenar el agua, que es calentada o bien en otro acumulador o mediante un elemento externo como un intercambiador de placas. Al no producirse intercambio de calor interno no existe en el interior ningún elemento de transmisión de calor que produzca el adecuado movimiento interior del fluido.

Este tipo de acumuladores es frecuente para volúmenes superiores a 1000 litros.

- Interacumuladores de intercambio simple.

Este tipo de equipos resultan idóneos para sistemas de producción de agua caliente aunque, como se ha dicho anteriormente, suelen ser sustituidos en instalaciones que requieran volúmenes de acumulación superiores a 1000 litros.

Dentro de los interacumuladores se encuentran modelos con serpentín que suelen tener disposición vertical ya sea simple o doble el intercambiador. También se encuentran en este grupo los de doble envoltante utilizados en instalaciones de termosifón con configuración horizontal.

- Interacumuladores con doble intercambio.

Un interacumulador con doble intercambio cuenta con dos elementos de transmisión de calor. Normalmente se trata de dos serpentines alimentados por dos fuentes de calor independientes.

Es habitual encontrarse este sistema en instalaciones de tamaño pequeño o medio. Los equipos interacumuladores con doble intercambio suelen ser acumuladores verticales con dos serpentines, en el que el primero es alimentado directamente por el fluido del sistema solar y el segundo por un fluido calentado en un equipo generador de calor perteneciente al sistema de apoyo, típicamente una caldera.

A la hora de diseñar un acumulador se debe tener en cuenta una serie de factores como:

- ❖ Nivel de resistencia en condiciones de máxima presión y máxima temperatura, ya que al tratarse de equipos que deben estar sometidos a condiciones termodinámicas variables y distintas a la del ambiente hay que conocer perfectamente el comportamiento de los materiales que los componen bajo las mismas.
- ❖ Protección ante corrosiones y degradaciones. Es básico contar con un adecuado tratamiento interno de los materiales que vayan a permanecer en contacto con el agua sanitaria, que puede tener una composición que resulte agresiva por acidez, cloruros, pH, etc. si este tratamiento no es óptimo, nos podemos encontrar con una degradación del miso y la consecuente aparición de microporos e incluso la perforación del depósito de acumulación por la corrosión de la pared interna. En lo que se refiere al exterior, los equipos deben contar con un revestimiento que los

proteja tanto mecánicamente como térmicamente, y es que la existencia de un aislamiento adecuado es básico para poder evitar pérdidas de calor en el fluido almacenado.

- ❖ La geometría del tanque. Externamente debe tenderse a equipos verticales, en los que la relación entre la base y altura sea lo menor posible, para poder favorecer la estratificación. Internamente deberán tomarse medidas que impidan una mezcla excesiva o una circulación inadecuada. Para ello es también importante la correcta ubicación de las conexiones de alimentación, entrada, salida e intercambiadores en el depósito.

Además de los parámetros de diseño que se han mencionado, también es necesario tener en cuenta aspectos relacionados con el funcionamiento que afectan notablemente en el rendimiento del sistema.

Como criterio general los depósitos de acumulación se deberán ubicar siempre que sea posible lo más cerca posible del campo de captadores y de los puntos de consumo, así como dentro de un local interior aislado para evitar pérdidas de calor y minimizar el coste del aislamiento del equipo.

Un depósito de acumulación debe tener una buena capacidad de estratificación. Esta se refiere a la capacidad de distribución vertical de temperaturas del agua en función de su densidad, favoreciendo el rendimiento. Se favorecerá la estratificación utilizando depósitos de acumulación verticales y evitando las mezclas en el interior durante el proceso de calentamiento. De este modo se consigue que el agua que sale del depósito hacia el consumo disponga de la mayor temperatura posible mientras que la que retorna hacia el intercambiador de calor esté a la menor temperatura posible, aumentando así el rendimiento de los colectores.

El proceso de mezcla, contrario a la estratificación, se debe a la alta velocidad del agua al entrar y/o salir del depósito de acumulación y siempre va a resultar perjudicial para las prestaciones de la instalación, para evitar este fenómeno, se pueden incorporar elementos difusores que reduzcan la fuerza con la que entra el agua fría de la red al depósito de acumulación, o ajustar los diámetros de las conducciones hidráulicas a los caudales calculados, de modo que se reduzca la velocidad de paso del fluido.

Otro factor importante es el diseño de las conexiones de entrada y salida del depósito de acumulación para evitar la circulación del fluido por caminos preferentes que provoquen calentamientos desiguales y una mala estratificación.

Con el fin de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en el depósito, la situación de las tomas para las diferentes conexiones deben ser las siguientes.

La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador al acumulador se realizará a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador de calor se realizará por la parte inferior de este.

En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos de consumo, como lo es el caso de esta instalación, esto se refiere al agua fría de red. La estratificación de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.

En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para las aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Siempre que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, estos se conectarán en serie invertida en el circuito primario, o en paralelo con los circuitos primario y secundarios equilibrado. El acumulador solar preferentemente será de configuración vertical de forma que se favorezca la estratificación en el interior del mismo.

En el caso de disponer de un subsistema de acumulación compuesto por más de un depósito, la conexión de los acumuladores permitirá la desconexión individual de los mismos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

Dimensionado

En algunos modelos de dimensionado de acumuladores solares se utiliza como criterio el consumo diario medio de agua caliente siendo este el volumen del depósito de acumulación.

Según el CTE para aplicaciones de ACS se debe cumplir:

$$50 < \frac{V}{A} < 180 \quad (4.100)$$

Siendo

V el volumen del depósito de acumulación solar en litros.

A la suma de las áreas de los captadores.

Por tanto, teniendo un campo de captación de 248,508 m², el volumen del depósito debe ser:

$$12425,4 \, l < V < 44731,44 \, l$$

Teniendo en cuenta los límites del volumen del acumulador, serán necesarios 4 depósitos proporcionados por SALVADOR ESCODA de acero vitrificado s/DIN 4753 cuyas características son:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Marca	Salvador escoda
Modelo	IMVV 4000 RB
Capacidad de ACS [l]	4000
Temperatura máxima [°C]	90
Presión máxima [bar]	8
Diámetro exterior [mm]	1910
Longitud total [mm]	2310

Tabla 35. Características del acumulador [14]

Los depósitos están aislados con 80 mm de espesor de espuma rígida de poliuretano de densidad optimizada. Además incorporan una protección catódica permanente CORREX UP.

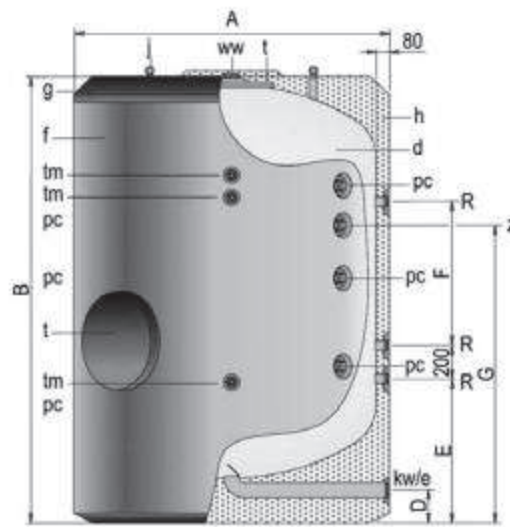


Figura 49. Acumulador SALVADOR ESCODA IMVV [14]

Estos depósitos de acumulación no se llenarán a su máxima capacidad puesto que así podrán ejercer también como vasos de expansión.

4.5.2.2. Tuberías

El caudal que circula por las tuberías del circuito secundario es el mismo que el de las tuberías que unen la sala de calderas con el campo de captadores del circuito primario.

$$Q = 8,1 \cdot 10^3 \frac{l}{h} = 2,25 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Por lo que si la velocidad máxima a la que puede circular el agua por estas tuberías es de 2 m/s, el diámetro mínimo de estas deberá ser:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi}} = 0,03785 \text{ m} = 37,85 \text{ mm}$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Estos conductos tienen el mismo diámetro que las tuberías del circuito primario, es decir, se emplearán tuberías de 42 mm de diámetro interior y 1 mm de espesor que proporciona la empresa *FERRESANITARIO GARCIA RUIZ, SA*.

La longitud de estas tuberías será más corta respecto a las del circuito de captación puesto que el intercambiador de calor y los depósitos de acumulación se encuentran en la misma sala. En total se necesitarán como máximo 8 metros de tubería, 4 metros para cada instalación solar.

4.5.2.3. Bomba de circulación

Para dimensionar la bomba de circulación del circuito secundario se realiza el mismo procedimiento que para la del circuito primario.

$$W_b = \frac{\dot{m} \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta} \quad (4.90)$$

Siendo

$$\Delta P = \Delta P_{acum} + \Delta P_{tub} + \Delta P_{IC} \quad (4.90)$$

Las pérdidas de carga que se producen en el intercambiador de calor son las mismas que se producen en el circuito primario.

$$\Delta P_{IC} = 12643 \text{ Pa}$$

Las pérdidas de carga que se producen en las tuberías del circuito secundario se obtienen de la misma forma. Sabiendo que el caudal de fluido es 8,1 m³/hr y que circula a una velocidad de 1,624 m/s por las tuberías, se obtiene la pérdida de carga en los tramos de tubería.

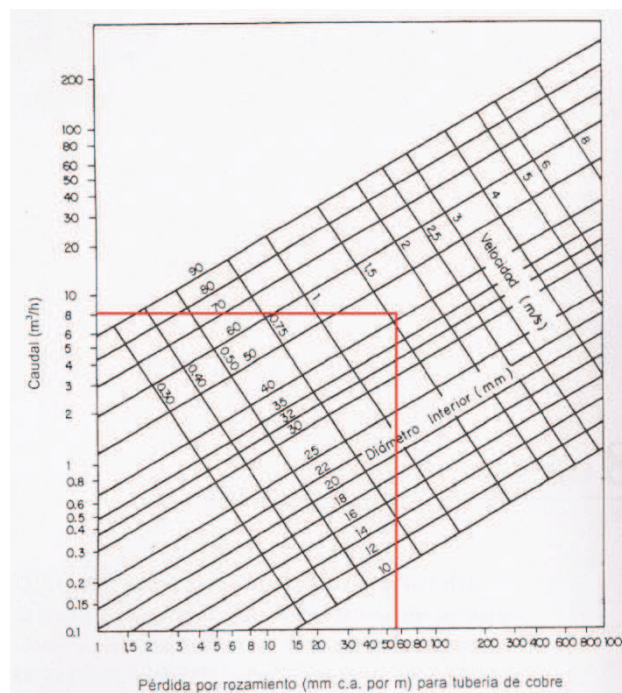


Figura 50. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de cobre ($D_{int}=42\text{mm}$)

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por lo que la pérdida de carga para los tramos de tubería con este diámetro y caudal serán de 58 mm.c.a. (milímetros de columna de agua) por metro de tubería.

Para las pérdidas de carga que se producen por los elementos de la instalación tales como codos, válvulas, etc., se tendrá en cuenta que estas serán del 20% de las pérdidas de carga de los tramos rectos de tubería.

$$\Delta P_{tub} = 8m \cdot 1,2 \cdot 58mmca \cdot 9,8 \frac{Pa}{mmca} = 5,46 kPa$$

$$\Delta P_{tub} = 5,46 kPa$$

Las pérdidas de carga del acumulador se estiman de un 10% las pérdidas de carga del intercambiador y de las tuberías.

$$\Delta P_{acum} = 0,1 \cdot (\Delta P_{tub} + \Delta P_{IC}) = 0,1 \cdot (5,46 + 12,643)$$

$$\Delta P_{acum} = 1,81 kPa$$

Por tanto, las pérdidas de carga en el circuito secundario son:

$$\Delta P = \Delta P_{acum} + \Delta P_{tub} + \Delta P_{IC} = 1,81 + 5,46 + 12,643$$

$$\Delta P = 19,913 kPa$$

Con esta pérdida de carga, con el caudal del fluido y con la altura máxima a la que debe elevarse el fluido por los conductos, el fabricante *GRUNDFOS* recomienda que se emplee bombas de circulación Magna 32-100 F con un rendimiento de 49,1%. Esta bomba es capaz de suministrar una potencia de 180 W y es capaz de satisfacer las necesidades de este circuito puesto que la potencia que se necesita es:

$$W_b = \frac{\dot{m} \cdot \Delta P}{\rho \cdot \eta} = \frac{2,257 \cdot 19913}{998,2 \cdot 0,491} = 91,69 W$$

Como este tramo de instalación es pequeño, bastará con colocar una bomba de circulación en cada instalación. Es decir, se necesitan dos bombas como esta.



Figura 51. Bomba de impulsión GRUNDFOS Magna 32-100 F [12]

4.5.3. Circuito terciario o de distribución

Este circuito está compuesto por el sistema de energía auxiliar, es decir, por la caldera y los depósitos de acumulación de ACS correspondientes.

4.5.3.1. Sistema auxiliar

Para poder satisfacer la demanda de agua caliente para usos sanitarios cuando la instalación solar térmica no pueda por sus propios medios, es necesario un sistema auxiliar. Por tanto se debe dimensionar una instalación auxiliar en las condiciones más críticas, es decir, en el mes más frío con la menor temperatura de agua de red y con el mayor consumo energético. Este mes será enero. Con esto se logra que la instalación sea capaz de abastecer la demanda en ausencia de Sol en cualquier época del año.

El diseño del sistema auxiliar se deberá dimensionar como si no existiera el sistema solar y por tanto para que sea capaz de cubrir las necesidades. Este sistema solo deberá entrar en funcionamiento cuando la energía extraída del campo de captación se haya aprovechado al máximo.

El sistema de apoyo de energía auxiliar no se puede utilizar en el circuito primario puesto que si se calienta el fluido caloportador se consigue una disminución brusca del rendimiento de los colectores provocando mayores pérdidas en estos.

Para dimensionar el sistema auxiliar se seguirán las recomendaciones que se extraen del Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación DTIE 1.01 de preparación de agua caliente para usos sanitarios de tal forma que el sistema este formado por un acumulador y una caldera de gas natural.

4.5.3.1.1. Interacumulador

El caudal instantáneo demandado por una instalación de agua caliente sanitaria varía a lo largo del día de forma brusca de un instante a otro. Esta variación depende de los hábitos y la actividad de los usuarios.

En la siguiente gráfica se puede apreciar esta variación de la demanda de ACS para un día laboral. En este diagrama se pueden distinguir tres zonas de demanda elevada entre las 6 y las 8, las 11 y la 13 y entre las 17 y las 20. Estas zonas son importantes para dimensionar correctamente el sistema de preparación de ACS.

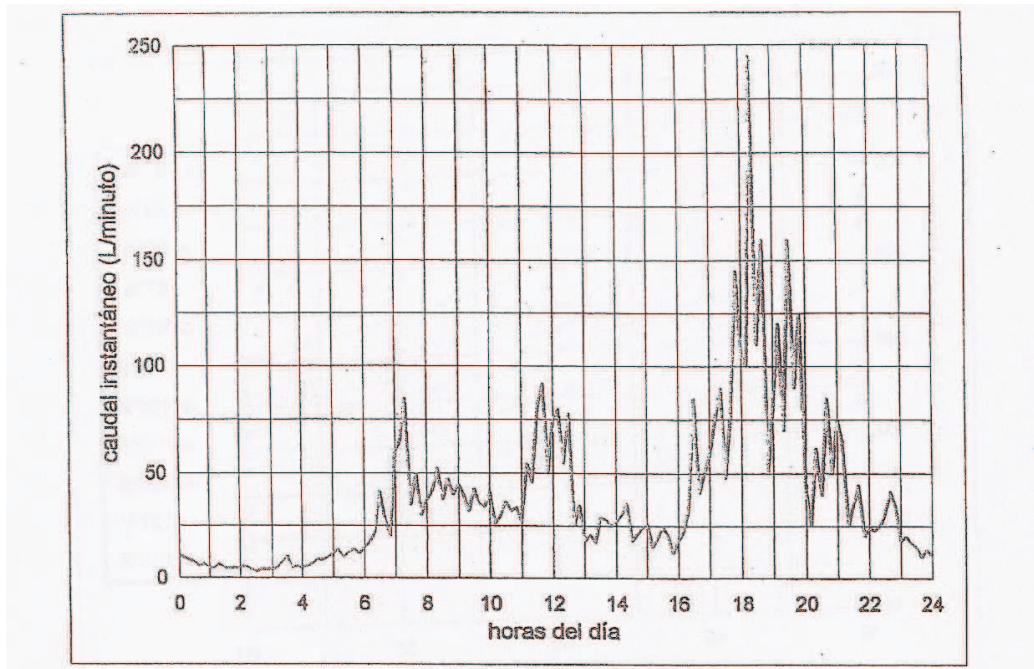


Figura 52. Variación del caudal instantáneo en un edificio de viviendas en un día laboral [6]

El consumo máximo diario representa el 75% del consumo total en un día y tiene lugar en la última franja horaria de máxima demanda, entre las 17 y las 20. Si bien lo importante no son las horas de máximo consumo sino que el sistema de preparación sea capaz de satisfacer la demanda en este período puesto que si esto es así, el sistema será capaz de hacer frente a las demandas en otros períodos del día.

El consumo máximo diario de un edificio de viviendas se representa como:

$$\dot{m}_{max} = 0,75 \cdot \dot{m}_{cons_dia} \cdot N \quad (4.101)$$

Siendo

$$\dot{m}_{cons_dia} \cdot N = 18524 \frac{l}{dia} \quad (4.102)$$

Por lo que el consumo máximo diario será:

$$\dot{m}_{max} = 0,75 \cdot 18524 = 13893 \frac{l}{dia}$$

Mientras que el consumo máximo horario medio en la hora de máximo consumo es:

$$C_{max} = \dot{m}_{max} \cdot \varphi \quad (4.103)$$

Donde φ es el coeficiente de simultaneidad.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N-1}} + 0,17 = 0,239 \quad (4.104)$$

Y por tanto el consumo máximo horario medio será:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$C_{max} = 3314,24 \frac{l}{hr} = 0,922 \frac{l}{s}$$

El caudal definido así representa una serie de crestas de caudal de gran amplitud y corta duración. La duración total de estas crestas es el período punta de consumo y la manera más fiable de calcularlo es:

$$t_{punta} = 5 \cdot \frac{N^{0,905}}{15+N^{0,92}} = 4,16 \text{ hr} = 14983 \text{ s} \quad (4.105)$$

El periodo de punta puede estar precedido o seguido por otro de parecida intensidad con lo cual el depósito quedará parcial o totalmente descargado y no podrá dar un servicio apropiado.

El sistema de acumulación, calculado con el caudal medio en una hora, cumple con la función de absorber esas crestas de demanda, parcialmente o en su totalidad, dependiendo del volumen acumulado, auxiliando al sistema directo de producción de calor.

El diseño de los acumuladores se debe realizar de forma que se favorezca la estratificación para que se pueda suministrar agua caliente a temperatura constante. Por ello es necesario que estos tengan un diámetro pequeño en comparación con la altura. La colocación de los depósitos deberá ser vertical y si se requieren más de un acumulador, estos se deberán colocar en serie sobre el circuito de agua caliente.

Existe una proporción de volumen de agua que no será aprovechable por su baja temperatura. Es por ellos que se debe considerar un factor de mezcla que represente la relación entre el volumen útil del depósito y el volumen efectivo.

$$f_m = 0,63 + 0,14 \cdot f_f \quad (4.106)$$

Siendo f_f el factor de forma del depósito.

$$f_f = \frac{H}{D} \quad (4.107)$$

Como se ha dicho anteriormente, el diámetro D debe ser menor que la altura H del depósito, por tanto se estimará que esta relación sea de 1,5.

$$f_f = 1,7$$

Y por tanto:

$$f_m = 0,868$$

El tiempo de preparación de estos depósitos a la temperatura de suministro se debe fijar para así saber que potencia es necesaria en la caldera. Se fijará que este tiempo de preparación sea de 2 horas.

$$t_{prep} = 2 \text{ hr} = 7200 \text{ s}$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

El volumen útil será:

$$V_u = \frac{C_{max} \cdot t_{punta}}{1 + \frac{T}{t_{prep}} \cdot \frac{1}{f_m}} = \frac{C_{max}}{\frac{1}{t_{punta}} + \frac{1}{t_{prep} \cdot f_m}} = 4065 \text{ l} \quad (4.108)$$

Por lo que el volumen efectivo será:

$$V = \frac{V_u}{f_m} = 4684 \text{ l} \quad (4.109)$$

Como la instalación está dividida en dos partes iguales, el volumen efectivo de cada parte será la mitad de la obtenida, es decir:

$$V = 2342 \text{ l}$$

Por lo que se decide emplear interacumuladores con un aislamiento térmico de 80 mm de grosor y en el interior del depósito serpentines desmontables. El interacumulador es el proporcionado por *SALVADOR ESCODA*, en particular el modelo IMV 2500 cuyas características técnicas son:

Modelo		IMV 2500
Código SB		CC 01 813
Código SBB		CC 01 810
Capacidad de ACS	l	2500
Temp. máx. continuo depósito ACS	°C	90
Presión. máx. depósito de ACS	bar	8
Temp. máx. circuito de calentamiento	°C	120
Presión. máx. circuito calentamiento	bar	25
Número de serpentines -SB/-SSB	und	6/8
Superficie de intercambio -SB/-SSB	m²	4.2/6.7
Peso en vacío (aprox.) -SB/-SSB	Kg	660/690
kW/e: Entrada de agua fría/desagüe	"GAS/M	3
ww: Salida de ACS	"GAS/M	3
z: recirculación	"GAS/M	1-1/2
kV: Avance c. primario	"GAS/M	2
kr: Retorno c. primario	"GAS/M	2
Ra: Conexión lateral	"GAS/M	2
tm: conexión vaina sensores	"GAS/M	3/4 (1/2)
Diámetro exterior: A	mm	1660
Longitud total: B	mm	2015
Cota D	mm	200
Cota E	mm	910
Cota F	mm	250
Cota G	mm	1120
Cota H	mm	1310

Tabla 36. Características del interacumulador SALVADOR ESCODA IMV 2500 [14]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

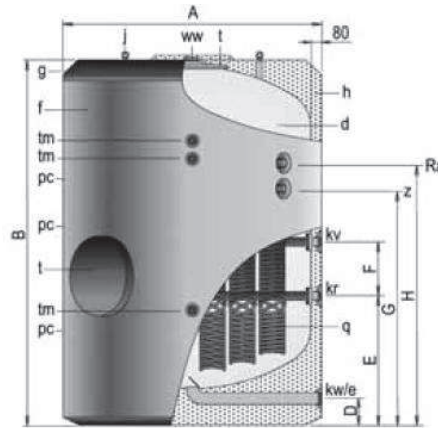


Figura 53. Interacumulador SALVADOR ESCODA IMV 2500 [14]

4.5.3.1.2. Caldera

La potencia que tiene que aportar la caldera se define como:

$$P = \frac{C_{max} \cdot t_{punta} \cdot \Delta T \cdot c_{p_{agua}} \cdot \rho_{agua}}{t_{prep}} \quad (4.110)$$

Donde ΔT es la diferencia de temperaturas entre la temperatura de suministro (60°C) y la temperatura de red mínima de todo el año (8°C).

$$P = 416,368 \text{ kW}$$

Como la instalación completa está dividida en dos, serán necesarias dos calderas de 208,184kW cada una.

La caldera que se instalará será una SAUNIER DUVAL, la *thermosystem condens F240/3* puesto que es una caldera apta para comunidades de vecinos y aporta la potencia necesaria.



Figura 54. Caldera SAUNIER DUVAL Thermosystem condens F240/3 [13]

4.6.Sistemas de control

El sistema de control tiene como objetivo optimizar el funcionamiento de la instalación solar regulando el flujo de energía entre las distintas partes de la instalación.

El elemento principal es la centralita diferencial el cual se encarga de maximizar la cantidad de energía aportada por el sistema de captación al sistema de acumulación para lo que la centralita pone en marcha o para las bombas de impulsión.

Para poder desempeñar esta función se utilizan dos sensores de temperatura situados uno en la parte superior de los captadores, a la salida del fluido de los mismos, y el otro en la parte baja del depósito de acumulación. La diferencia de los valores obtenidos por los sensores es lo que hará decidir a la centralita si las bombas deben estar en funcionamiento o no. Un ejemplo de esto se puede observar en la siguiente gráfica.

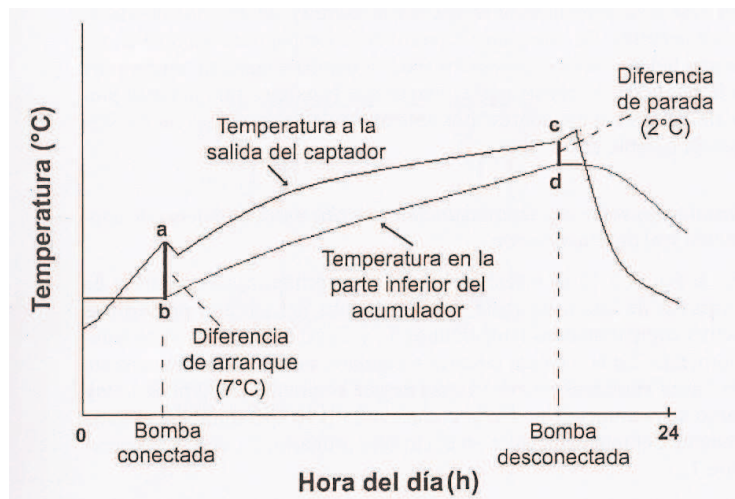


Figura 55. Distribución de temperaturas y estado de la bomba [9]

Tal y como indica el CTE el sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea inferior a 2°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C

Variable	Valor estimado	
	Mínimo	Máximo
Diferencia de temperatura a la conexión	5 °C	10 °C
Diferencia de temperatura a la desconexión	3 °C	5 °C
Tiempo de conexión mínimo para la bomba	5 min	7 min

Tabla 37. Valores típicos de operación en sistemas de control [10]

Los termostatos son reguladores de todo o nada. Su misión es mantener una temperatura o una diferencia de temperatura constante.

Los reguladores proporcionales son aquellos en los que existe una relación de proporcionalidad lineal continua entre el valor de la temperatura medida y la potencia aplicada al elemento regulador.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Los sensores son elementos que traducen una variable física en señal eléctrica. Son sensores los termopares, termoresistencias, etc.

Los elementos actuadores son los que utiliza el control para accionar dispositivos de potencia o para servir de intermediario entre el regulador electrónico y los dispositivos que éste controla. Son elementos actuadores los relés, los contactores, semiconductores, etc.

En la instalación se empleará la centralita RESOL DeltaSol BS/3 Cool que incorpora manómetro y termómetros. En esta centralita se pueden conectar hasta 4 sondas PT 1000 y los datos recogidos se pueden almacenar en un ordenador.



Figura 56. Centralita RESOL DeltaSol BS/3 Cool [14]

5. Mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento que se deben realizar a la instalación son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

Al tratarse de una instalación de más de 20 m² de superficie de captación, se deberá realizar una revisión de la instalación cada seis meses.

Todas las operaciones de mantenimiento deberán ser realizadas por personal cualificado en tecnología solar y en mecánica general. Todas lo operaciones que se realicen a la instalación deberán estar reflejadas en un libro de mantenimiento.

El mantenimiento incluye todas las operaciones de mantenimiento y la sustitución de los elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación.

Las operaciones que se deben realizar en la instalación solar para producción de ACS son las reflejadas en las siguientes tablas con la periodicidad mínima de ellas. En las tablas se indicará inspección visual como IV, mientras que control de funcionamiento se indicará como CF.

Equipo	Frecuencia en meses	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre el original
Cristales	6	IV condensaciones y suciedad
Juntas de degradación	6	IV agrietamientos y deformaciones
Absorbedor	6	IV corrosión y deformaciones
Carcasa	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Conexiones	6	IV aparición de fugas
Estructura	6	IV degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos
Captadores	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores	12	Llenado parcial del campo de captadores

Tabla 38. Mantenimiento del sistema de captación

Equipo	Frecuencia en meses	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en el fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Tabla 39. Mantenimiento del sistema de acumulación

Equipo	Frecuencia en meses	Descripción
Intercambiador de placas (limpieza)	12	CF eficiencia y prestaciones
Intercambiador de serpentín (limpieza)	12	CF eficiencia y prestaciones

Tabla 40. Mantenimiento del sistema de intercambio

Equipo	Frecuencia en meses	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	12	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación, protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión	6	Comprobación de la presión
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuación (abrir y cerrar) para evitar el agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

Tabla 41. Mantenimiento del circuito hidráulico

Equipo	Frecuencia en meses	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema	12	CF actuación

Tabla 42. Mantenimiento del sistema eléctrico y de control

Equipo	Frecuencia en meses	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

Tabla 43. Mantenimiento del sistema de energía auxiliar

Tal y como establece el RITE IT 2.2.7, una vez montada la instalación se deberán probar los circuitos. En el caso del circuito primario la presión de prueba será de 1,5 veces la presión de trabajo del circuito primario con un mínimo de 3 bar. Realizada esta prueba se llevará el fluido del circuito primario hasta la temperatura de estancamiento, con dicho circuito completamente lleno y la bomba parada y con una irradiancia sobre el plano del captador del 80% de la irradiancia máxima durante al menos una hora.

6. Estudio ambiental

El impacto ambiental es el cambio que se produce en el ambiente cuando se lleva a cabo un proyecto o una actividad. Estos cambios pueden ser beneficiosos o malévolos para el planeta puesto que no todos los proyectos conllevan una contaminación del planeta como es el objetivo de este proyecto.

Las ventajas de usar una instalación solar térmica para ACS, climatización o para cualquier otra función no solo aporta ventajas económicas sino que también beneficia al medioambiente al no emitir las emisiones de CO₂ que se emitirían si la instalación solo estuviese formada por solo caldera. Es por ello que el uso de cualquier tipo de instalación proveniente de una fuente renovable es interesante de abordar para salvaguardar el planeta.

Las instalaciones energéticas de fuentes renovables no solo ahorran esas emisiones que se producirían en ausencia de estas sino que también las que se producen en la extracción de los combustibles fósiles, en la transformación de estos y en el transporte. Esta reducción de emisiones es beneficiosa para el agua, el aire y la atmósfera.

Las emisiones que se generan de la combustión en la caldera de gas natural provocan un incremento del efecto invernadero.

Los gases principales del efecto invernadero son el dióxido de carbono, el metano y el dióxido de nitrógeno que en pequeñas concentraciones son esenciales para la vida en la Tierra.

Como bien es sabido, no toda la energía recibida por el Sol es absorbida por la Tierra sino que una parte de ella es reflejada de nuevo al espacio. Esta energía que se devuelve al espacio es emitida en forma de energía infrarroja. Los gases de invernadero absorben esta energía calentando tanto la superficie terrestre como el aire que la rodea y es por ello que un aumento de estos gases provoca que se absorba más energía y por tanto que la Tierra y el aire que lo rodea aumenten de temperatura provocando el deshielo de los casquetes polares que conlleva una aumento de los niveles del mar.

Es por ello que se tiene que tener especial atención en las emisiones de contaminantes. Cabe destacar que el gas de efecto invernadero más significativo es el CO₂ debido a su gran concentración en la atmósfera y por su elevado crecimiento de su concentración en los últimos años.

Por este motivo se analizará cuantas emisiones de CO₂ se ahorran con la instalación que se ha diseñado a lo largo de estas páginas.

Se tendrá en cuenta que para una caldera de gas natural la relación entre la energía producida y las emisiones de CO₂ es:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 0,18 \text{ kg CO}_2$$

Sabiendo que el rendimiento de la caldera es del 90%, el consumo de energía para producir la demanda energética del edificio para la generación de ACS será:

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

$$Q_{comb} = \frac{Q_{cons}}{\eta_c} \quad (5.1)$$

Por lo que las emisiones de CO₂ que se producirían con la caldera serían:

Mes	Q _{cons} [kW·h]	Q _{comb} [kW·h]	kg de CO ₂
Enero	36193,765	40215,29	7238,75
Febrero	31839,954	35377,73	6367,99
Marzo	32843,214	36492,46	6568,64
Abril	33084,579	36760,64	6616,92
Mayo	31031,394	34479,33	6206,28
Junio	28011,424	31123,80	5602,28
Julio	24622,379	27358,20	4924,48
Agosto	20894,660	23216,29	4178,93
Septiembre	24590,863	27323,18	4918,17
Octubre	27621,110	30690,12	5524,22
Noviembre	30887,026	34318,92	6177,41
Diciembre	35182,962	39092,18	7036,59

Tabla 44. Emisiones de CO₂ en una instalación de caldera

Con la instalación solar que se ha diseñado se ahorra una energía mensual de:

Mes	Q _{comb} [kW·h]	f []	Q _{ahorro} [kW·h]
Enero	40215,29	0,502	20188,08
Febrero	35377,73	0,569	20129,93
Marzo	36492,46	0,684	24960,84
Abril	36760,64	0,722	26541,18
Mayo	34479,33	0,784	27031,79
Junio	31123,80	0,89	27700,19
Julio	27358,20	1,019	27878,00
Agosto	23216,29	1,066	24748,56
Septiembre	27323,18	0,857	23415,97
Octubre	30690,12	0,748	22956,21
Noviembre	34318,92	0,593	20351,12
Diciembre	39092,18	0,518	20249,75

Tabla 45. kW·h que se ahorran con la instalación térmica solar

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por lo que se ahorran unas emisiones de CO₂ de:

Mes	kg de CO ₂ ahorrados
Enero	3633,85
Febrero	3623,39
Marzo	4492,95
Abril	4777,41
Mayo	4865,72
Junio	4986,03
Julio	4924,48
Agosto	4178,93
Septiembre	4214,87
Octubre	4132,12
Noviembre	3663,20
Diciembre	3644,95

Tabla 46. CO₂ que no se emite gracias a la instalación solar

Ahorrándose una emisión de 51137,92 kg de CO₂ al año. La instalación con el sistema solar instalado y funcionando como se ha predicho, emitirá una cantidad de CO₂ de:

Mes	kg de CO ₂
Enero	3604,90
Febrero	2744,60
Marzo	2075,69
Abril	1839,50
Mayo	1340,56
Junio	616,25
Julio	0,00
Agosto	0,00
Septiembre	703,30
Octubre	1392,10
Noviembre	2514,20
Diciembre	3391,64

Tabla 47. CO₂ que emite el edificio con la instalación solar instalada

En la siguiente gráfica se compara ambos tipos de instalación, es decir, entre una con solo el uso de la caldera para la generación de ACS y otra con la instalación solar térmica instalada.

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

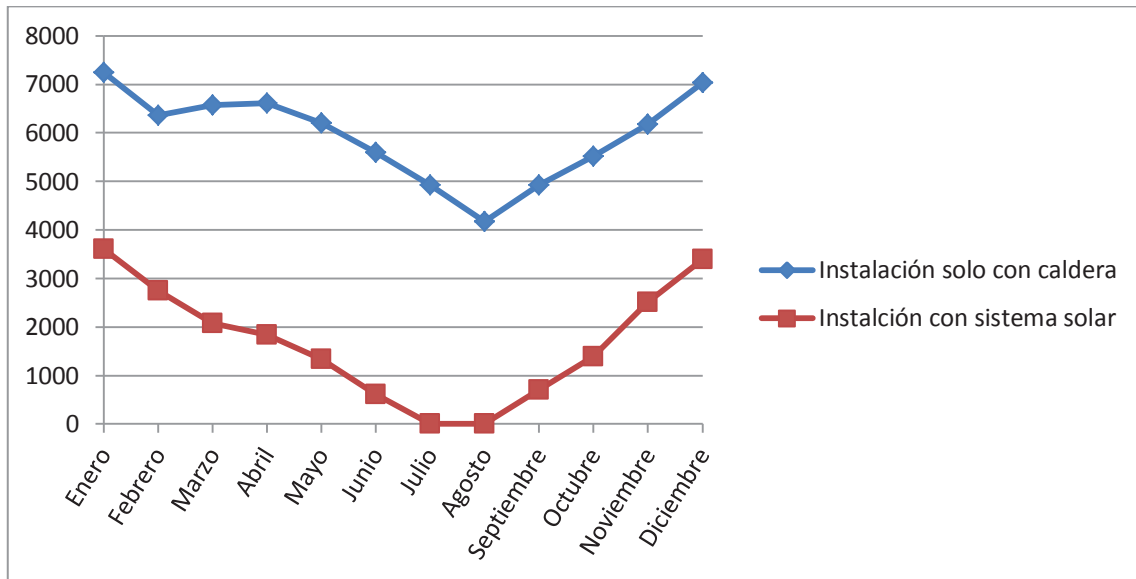


Figura 57. Gráfica comparativa de las emisiones de CO₂ en el edificio con y sin la instalación solar

7. Estudio económico

El motivo de equipar al edificio de una instalación térmica solar no es solo debido a la reducción de las emisiones de CO₂ sino que además se debe lograr un beneficio económico basado en el ahorro en las facturas.

Las instalaciones solares térmicas tienen una vida media de 20 años asique el objetivo es que en esos años se consiga un beneficio, es decir, que se rentabilice la instalación.

Hasta el año pasado las comunidades autónomas subvencionaban parte de las instalaciones pero en la actualidad estas subvenciones han sido retiradas debido a la crisis. Es por esto que será la comunidad de vecinos quien deba hacer frente a la inversión.

Los elementos que se han ido seleccionando para la instalación así como la cantidad y el precio unitario de cada uno vienen reflejados en la siguiente tabla.

Equipo	Proveedor	Modelo	Cantidad	Precio unitario	TOTAL
captador solar	Thermital	TSOL 25	108	785 €	84.780 €
Sistema de fijación para 5 captadores	Thermital	Kit fijación 0° - 5 colector	18	470 €	8.460 €
Sistema de fijación para 3 captadores	Thermital	Kit fijación 0° - 3 colector	4	250 €	1.000 €
Sistema de fijación para 1 captadores	Thermital	Kit fijación 0° - 1 colector	6	125 €	750 €
Conexión colectores	Thermital	Kit conexión colectores	108	30 €	3.240 €
Tubería	FERRESANITARIO GARCÍA RUIZ, S.A.	Tubo cobre rígido 42x1mm	168	13,48 €	2.265 €
Tubería	FERRESANITARIO GARCÍA RUIZ, S.A.	Tubo cobre rígido 28x1mm	360	8,14 €	2.930 €
Tubería	FERRESANITARIO GARCÍA RUIZ, S.A.	Tubo cobre rígido 15x1mm	72	4,11 €	296 €
Aislamiento térmico de tubería	ISOPIPE	ISOPIPE UV PLUS 30x42mm	168	30,84 €	5.181 €
Aislamiento térmico de tubería	ISOPIPE	ISOPIPE UV PLUS 30x28mm	360	24,67 €	8.881 €
Aislamiento térmico de tubería	ISOPIPE	ISOPIPE UV PLUS 30x15mm	72	21,08 €	1.518 €
Propilenglicol	SALVADOR ESCODA	ESCOGLICOL PLUS FLD 160 (bidón de 120 litros)	2	368 €	736 €

Tabla 48. Presupuesto de la instalación

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Equipo	Proveedor	Modelo	Cantidad	Precio unitario	TOTAL
Intercambiador de calor	Alfa Laval	M6M-FG (16 placas)	2	2.251,44 €	4.503 €
Bomba de Impulsión	GRUNDFOS	TP 32-380/2	4	2.282,60 €	9.130 €
Bomba de Impulsión	GRUNDFOS	Magna 32-100F	2	852 €	1.705 €
Vaso de expansión	SALVADOR ESCODA	35 SMR-P	2	112 €	224 €
Acumulador	SALVADOR ESCODA	IMVV 4000 RB	4	5.180 €	20.720 €
Interacumulador	SALVADOR ESCODA	IMV 2500 SB	2	6.495 €	12.990 €
Caldera	SAUNIER DUVAL	Thermosystem condens F240/3	2	13.920 €	27.840 €
Válvula esfera	SALVADOR ESCODA	Válvula de esfera solar	64	17,52 €	1.121 €
Válvula de resorte	SALVADOR ESCODA	Válvula de resorte solar	32	13 €	416 €
Desaireador	SALVADOR ESCODA	Botellín desaireador solar con purgador manual	32	70 €	2.240 €
Válvula de equilibrado	SALVADOR ESCODA	Válvula de asiento	2	88,48 €	177 €
Centralita de control	RESOL DeltaSol	BS/3	2	182 €	364 €
Ingeniero			1	5.000 €	5.000 €
Otros gastos			1	10.000 €	10.000 €

Tabla 49. Presupuesto de la instalación (cont.)

Por lo que la inversión inicial será de 216.468€. Para saber si la instalación es rentable será necesario saber cuanto es el ahorro que se genera con el aporte solar y por tanto saber cuanto es el precio del kWh del gas natural.

Tarifas oficiales de referencia*			
Tarifa aconsejada	Consumo kWh/año	Término fijo	Término variable
Gas Básica	Inferior o igual a 5.000	4,35 €/mes	5,795555 c€/kWh
Gas Óptima	Superior a 5.000 e inferior o igual a 11.500	8,99 €/mes	5,130355 c€/kWh
Gas Negocio	Superior a 11.500 e inferior o igual a 50.000	10,43 €/mes	4,587220 c€/kWh
Gas Plus Prima¹	Superior a 50.000 e inferior o igual a 100.000	52,49 €/mes	5,45570 c€/kWh
Gas Supra Prima²	Superior a 100.000 e inferior o igual a 1 GWh	78,37 €/mes	5,15450 c€/kWh

Tabla 50. Tarifa de Gas Natural Fenosa [19]

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Puesto que el consumo energético del edificio es de más de 100.000 kWh, la tarifa que se deberá tener en cuenta es la de *Gas Supra Prima* proporcionada por GAS NATURAL FENOSA.

Como se ha visto en el apartado del estudio ambiental, el ahorro energético que se consigue con la instalación y su consiguiente ahorro económico son:

Mes	Q _{ahorro} [kW·h]	Ahorro [€]
Enero	20.188,08	1.118,96
Febrero	20.129,93	1.115,97
Marzo	24.960,84	1.364,98
Abril	26.541,18	1.446,44
Mayo	27.031,79	1.471,72
Junio	27.700,19	1.506,18
Julio	27.878,00	1.488,55
Agosto	24.748,56	1.275,05
Septiembre	23.415,97	1.285,35
Octubre	22.956,21	1.261,65
Noviembre	20.351,12	1.127,37
Diciembre	20.249,75	1.122,14

Tabla 51. Ahorro económico mes a mes en la factura del combustible

Lo que al año es un ahorro de 15.584,35€ en gas natural para la caldera. Este ahorro sufrirá modificaciones según vaya variando el precio del gas natural. Puesto que actualmente ha vuelto a tener precios prácticamente iguales a los de hace 5 años, se supondrá que la variación del precio no afectará al estudio que se va a realizar. Por tanto, la única variación que afectará a este beneficio será la del IPC, un 2,1% anual.

Para que la instalación pueda durar todos los años predichos, esta debe tener un mantenimiento el cual se estima que costará anualmente 1.000€ con una tasa de inflación anual del 2,1%.

Existen varios métodos para estudiar la rentabilidad de un proyecto. Estos métodos de cálculo son el VAN (valor actual neto), el TIR (tasa interna de retorno), y el PAYBACK.

Valor actual neto (VAN)

El Valor Actual Neto de una inversión es la suma algebraica de los valores actualizados de todos los flujos de caja netos esperados del proyecto deducidos a la inversión inicial. El VAN nos da una medida absoluta de la rentabilidad del proyecto. Si el resultado de este análisis es positivo, el proyecto es rentable y por tanto podría ser abordado. Sin embargo, si el resultado es negativo, produciría pérdidas y no debería ser abordado. El VAN se expresa como:

$$VAN = -FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} \quad (6.1)$$

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Donde:

FC_0 es la inversión inicial del proyecto.

FC_i es el flujo de caja anual.

r es la tasa de rentabilidad o tasa de descuento.

n es el número de años para el cual se realiza el estudio.

Para poder realizar el estudio del valor actual neto se debe fijar una tasa de descuento. Esta se puede aproximar al valor del Euribor, por tanto, la tasa de descuento es aproximadamente 1,3%.

Teniendo en cuenta que tanto el ahorro en las facturas como el mantenimiento de la instalación sufren una inflación anual del 2,1%, los beneficios económicos que aporta la instalación solar cada año durante los 20 años que se espera que dure la instalación funcionando a pleno rendimiento será:

Año	Ahorro de combustible	Mantenimiento	Total
1	15.584,35 €	1.000 €	14.584,35 €
2	15.911,62 €	1.021 €	14.890,62 €
3	16.245,77 €	1.042 €	15.203,32 €
4	16.586,93 €	1.064 €	15.522,59 €
5	16.935,25 €	1.087 €	15.848,57 €
6	17.290,89 €	1.110 €	16.181,39 €
7	17.654,00 €	1.133 €	16.521,20 €
8	18.024,73 €	1.157 €	16.868,14 €
9	18.403,25 €	1.181 €	17.222,37 €
10	18.789,72 €	1.206 €	17.584,04 €
11	19.184,31 €	1.231 €	17.953,31 €
12	19.587,18 €	1.257 €	18.330,33 €
13	19.998,51 €	1.283 €	18.715,27 €
14	20.418,48 €	1.310 €	19.108,29 €
15	20.847,26 €	1.338 €	19.509,56 €
16	21.285,06 €	1.366 €	19.919,26 €
17	21.732,04 €	1.394 €	20.337,56 €
18	22.188,42 €	1.424 €	20.764,65 €
19	22.654,37 €	1.454 €	21.200,71 €
20	23.130,12 €	1.484 €	21.645,93 €

Tabla 52. Beneficio de la instalación durante sus años de vida

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

Por tanto, según lo dicho anteriormente, el VAN de la instalación con una inversión inicial de 216.468 € es de:

$$VAN = -FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} = 92.929,43 \text{ €}$$

Por tanto, como el valor del VAN es positivo la instalación según este método de análisis es rentable y por tanto su viabilidad es buena.

Tasa interna de retorno (TIR)

Este criterio de valoración de rentabilidad proporciona la tasa de interés que hace nulo el VAN, es decir, la tasa de interés que iguala la inversión inicial con los flujos de caja futuros esperados durante la duración del proyecto.

$$VAN = 0 \longrightarrow -FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} = 0 \quad (6.2)$$

El proyecto se considerará rentable si la tasa de interés obtenida es superior a la establecida anteriormente en el cálculo del VAN.

$$-FC_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} = 0 \implies TIR = 4,96 \%$$

El *TIR* obtenido es superior a la tasa de interés que se había fijado anteriormente (1,3%), por tanto el proyecto es viable también según este método de análisis.

PAYBACK

Este criterio de evaluación establece la duración mínima del proyecto para la cual se recupera la inversión inicial a través de los sucesivos flujos de caja que se obtienen a lo largo de la vida útil de la instalación.

Año	Gastos	Beneficios	Flujo de caja
0	216.468 €	0 €	-216.468 €
1	1.000 €	15.584,35 €	-201.883,65 €
2	1.021 €	15.911,62 €	-186.993,03 €
3	1.042 €	16.245,77 €	-171.789,70 €
4	1.064 €	16.586,93 €	-156.267,11 €
5	1.087 €	16.935,25 €	-140.418,54 €
6	1.110 €	17.290,89 €	-124.237,15 €
7	1.133 €	17.654,00 €	-107.715,95 €

TFG: Aportación de una instalación solar térmica a la atención de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) de un edificio residencial en Murcia

8	1.157 €	18.024,73 €	-90.847,81 €
9	1.181 €	18.403,25 €	-73.625,44 €
10	1.206 €	18.789,72 €	-56.041,39 €
11	1.231 €	19.184,31 €	-38.088,09 €
12	1.257 €	19.587,18 €	-19.757,76 €
13	1.283 €	19.998,51 €	-1.042,49 €
14	1.310 €	20.418,48 €	18.065,79 €
15	1.338 €	20.847,26 €	37.575,35 €
16	1.366 €	21.285,06 €	57.494,61 €
17	1.394 €	21.732,04 €	77.832,18 €
18	1.424 €	22.188,42 €	98.596,83 €
19	1.454 €	22.654,37 €	119.797,54 €
20	1.484 €	23.130,12 €	141.443,47 €

Tabla 53. Flujo de caja

Por tanto será a partir del decimotercer año cuando la instalación se haya amortizado completamente y produzca beneficios económicos además de los beneficios ambientales explicados anteriormente.

Gráficamente se observa que la recuperación del capital invertido es prácticamente lineal.



Figura 58. Flujo de caja

8. Conclusiones

A lo largo de estas páginas se ha dimensionado cada elemento necesario en una instalación solar térmica para la producción de ACS en un edificio residencial en Murcia siguiendo las indicaciones establecidas por el CTE.

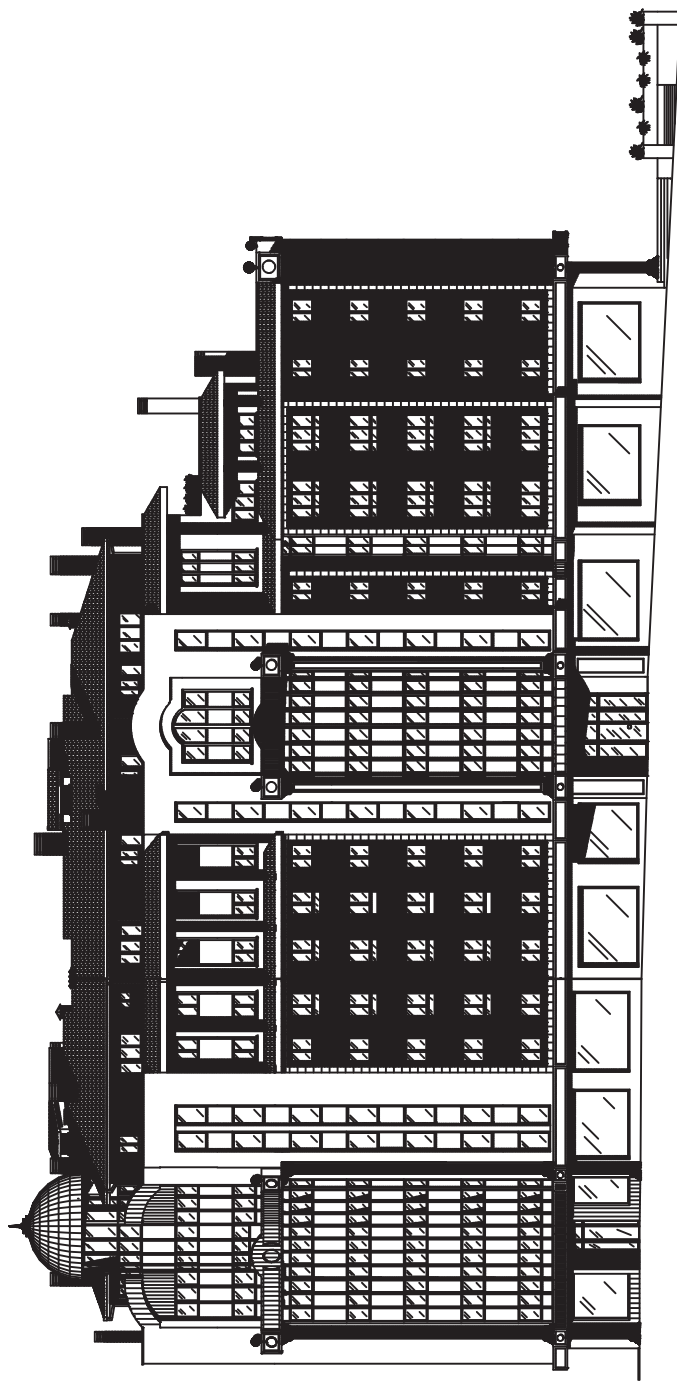
Para poder satisfacer la contribución solar mínima establecida por el CTE en la zona climática en la que se encuentra Murcia, ha sido necesaria casi toda la superficie de la azotea con orientación Sur. Por tanto, en el caso que se quisiera aprovechar la instalación para alguna aplicación más como calefacción o refrigeración, esto sería imposible tal y como se ha diseñado. Se podría estudiar el comportamiento de otros captadores además de tener que colocar los captadores a otra inclinación más favorable, pues al estar aprovechando la inclinación del tejado del edificio se está perdiendo radiación solar útil.

Como se ha visto en los apartados anteriores, esta instalación es rentable en menos de 15 años. Además cabe destacar la inmensa cantidad de CO₂ que se ahorra de emisiones a la atmósfera. En total se llegan a evitar 1.022 toneladas de CO₂ durante toda la vida útil de la instalación.

9. Bibliografía

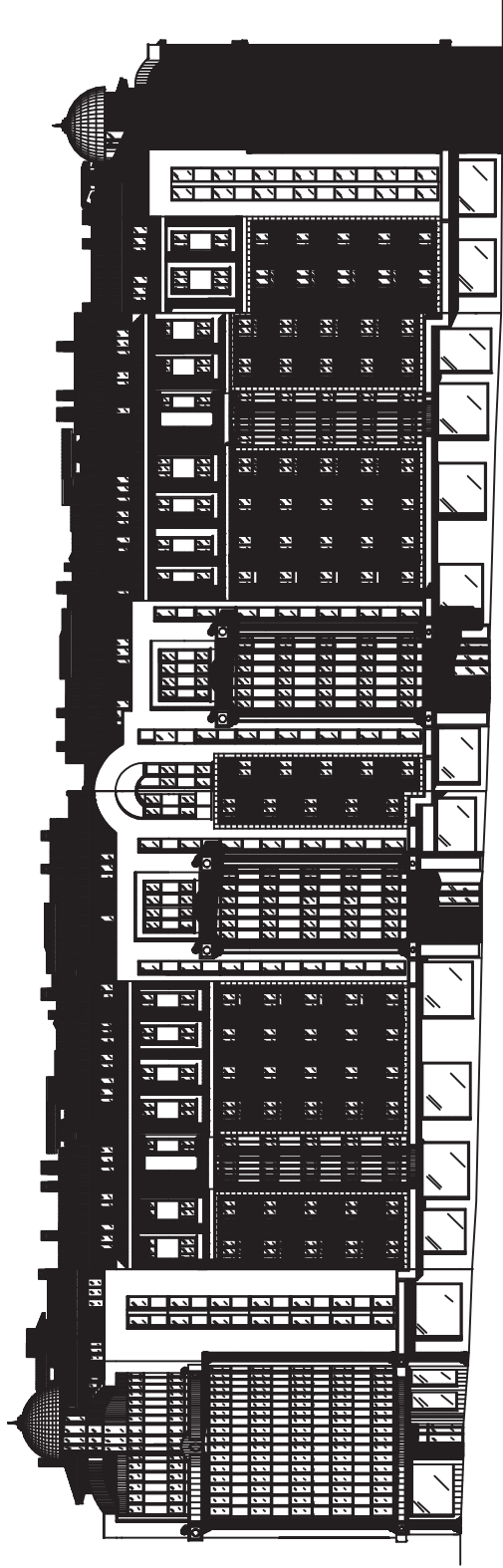
- Código técnico de la Edificación (CTE) [1]
- Pliego de Condiciones Técnicas Solar de Baja Temperatura [2]
- CENSOLAR [3]
- IDAE [4]
- Joint Research Centre (JRC) [5]
- DTIE 1.01 [6]
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [7]
- AEMET
- “Manual de energía solar térmica”, Javier Cañada Ribera [8]
- “Tecnología de las energías renovables”, José M^a Fernández Salgado [9]
- <http://powertown.no/> [10]
- <http://www.solarweb.net/>
- <http://soloingenieria.net/>
- <http://www.caloryfrio.com/>
- <http://www.thermital.it/> [11]
- <http://es.grundfos.com/> [12]
- <http://www.saunierduval.es/> [13]
- <http://www.salvadorescoda.com/> [14]
- <http://www.garciaruiz.es/webcms/index.php>
- <http://www.alfalaval.com/Pages/default.aspx> [15]
- <http://www.helitec.es> [16]
- Apuntes de la asignatura “Instalaciones de energías renovables” [17]
- <http://www.solarenergy.ch/> [18]
- <http://www.gasnaturalfenosa.es> [19]
- Apuntes de la asignatura “Transferencia de calor”
- Apuntes de la asignatura “Instalaciones y máquinas hidráulicas”

10. ANEXOS



PROYECTO	PROYECTO BANCO PARA 322 VIVIENDAS	FECHA	15/05/2018
LOCALIDAD	LOCALIDADES COMERCIALES Y GUAJAL	PROYECTO	A-25
ESTADO	GUATEMALA	PROYECTO	4/99
PROYECTO	UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	PROYECTO	
PROYECTO	ALJADO CONSUMO CALLE A - C	PROYECTO	

m.d.l.
DELINTEACION

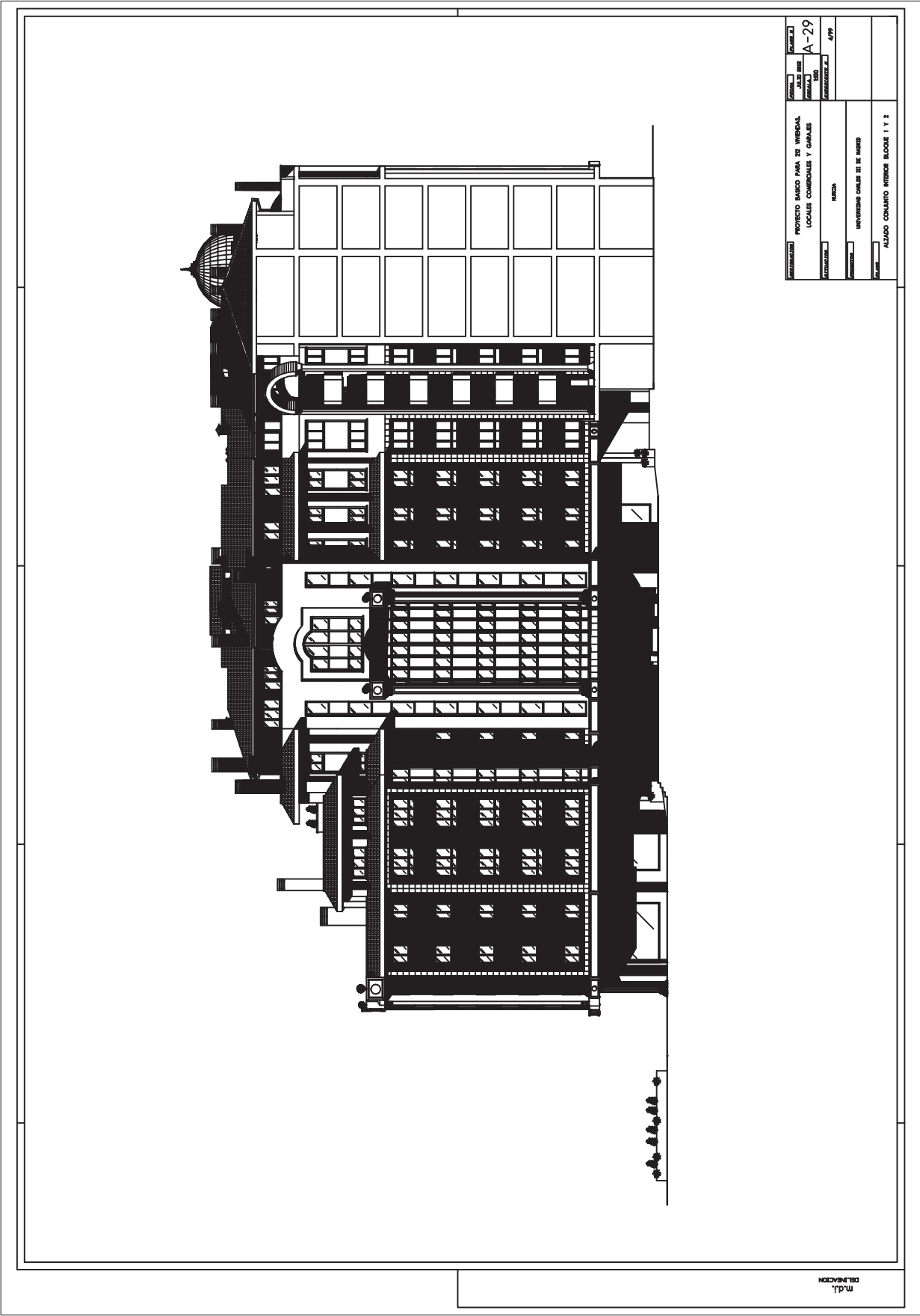


PROYECTO: PASADU PARA DE VIVIENDA DISEÑO CONSTRUCTIVO Y ELEVACION		FOLIO: 14		Nº: 26	
AUTOR: ALVARO GONZALEZ GARCIA A. - D		FECHA: 09/07		Escala: 1/50	
TITULO: PASADU PARA DE VIVIENDA		LUGAR: PASADU PARA DE VIVIENDA		CALLE: PASADU PARA DE VIVIENDA	
PROYECTO: PASADU PARA DE VIVIENDA		FECHA: 09/07		Escala: 1/50	



W.D.
OBJECTION

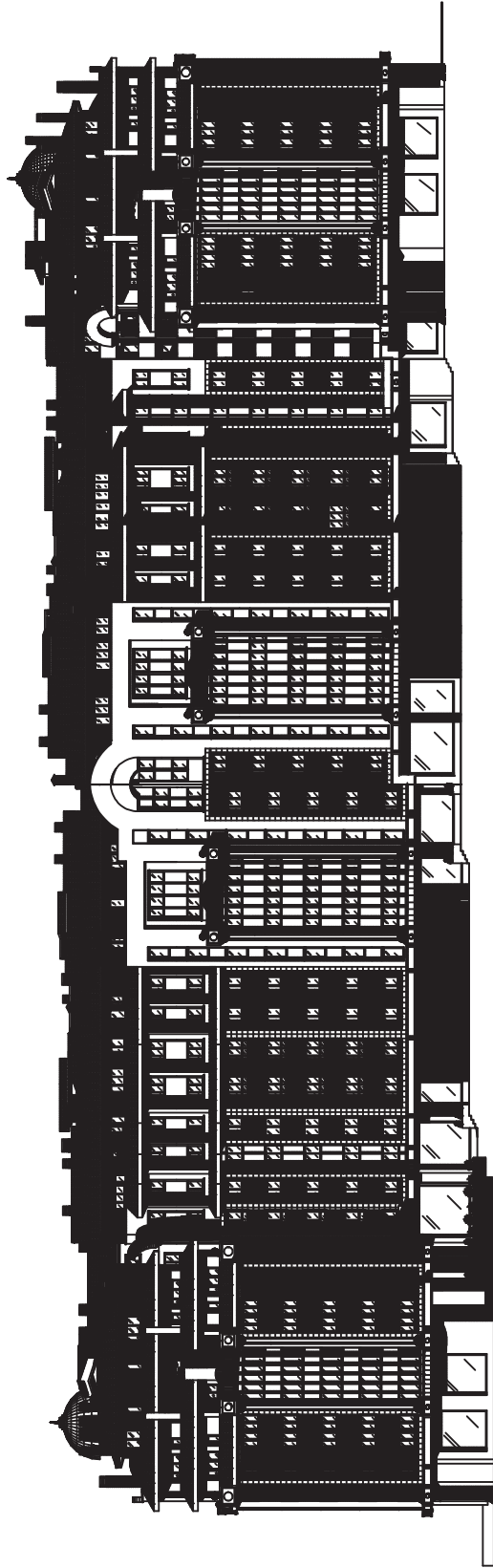
FECHA DE ENTREGA	PROYECTO BANCO PARA 20 UNIVERSIDADES LOCALES COMERCIALES Y GUAJALOS	FECHA	A-27
ENTREGA DE	ENCUENA	FECHA DE ENTREGA	4/9/9
ENTREGA DE	UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	FECHA DE ENTREGA	
ENTREGA DE	ALZADO CUANTRO CALLE D - E	FECHA DE ENTREGA	

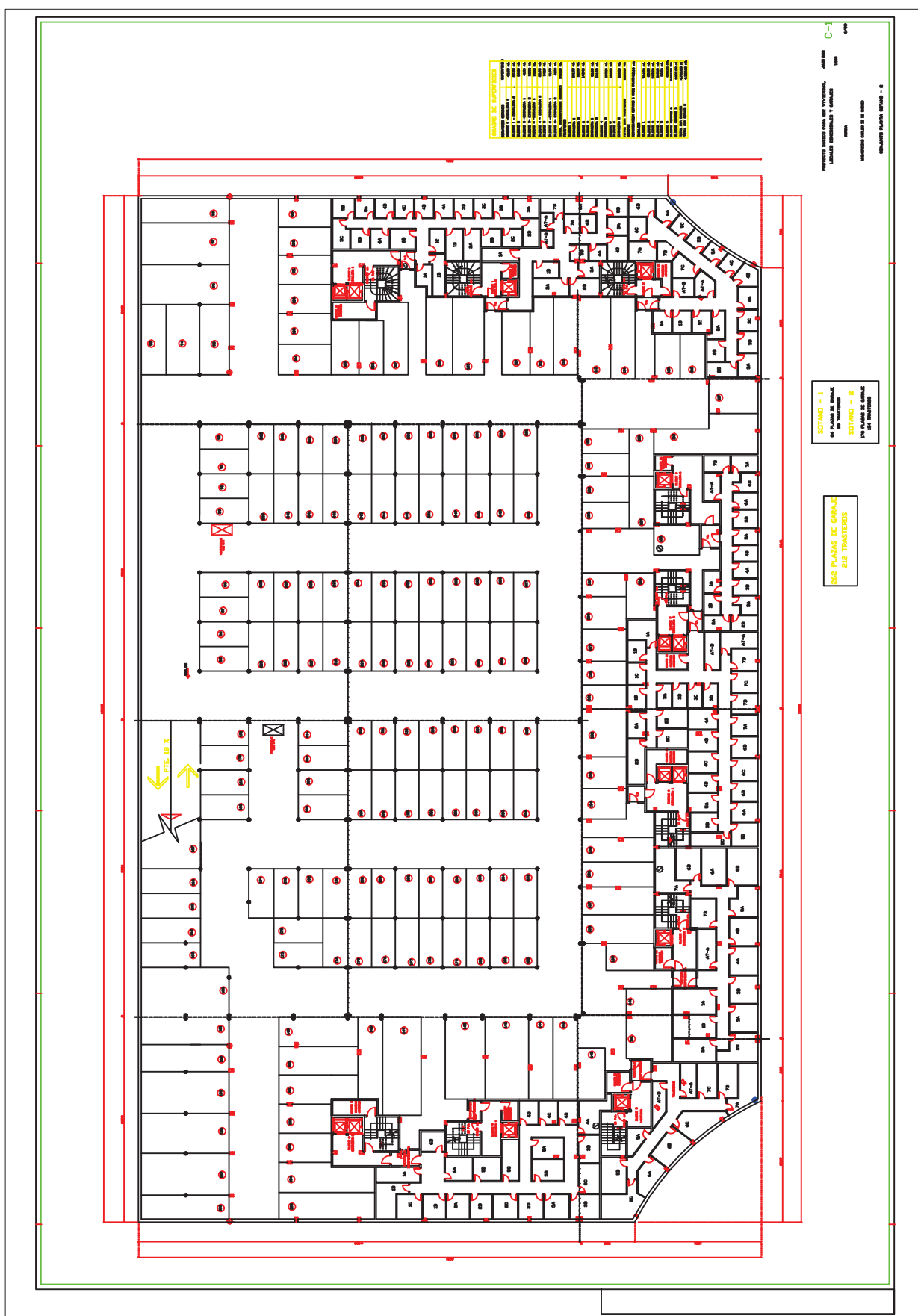


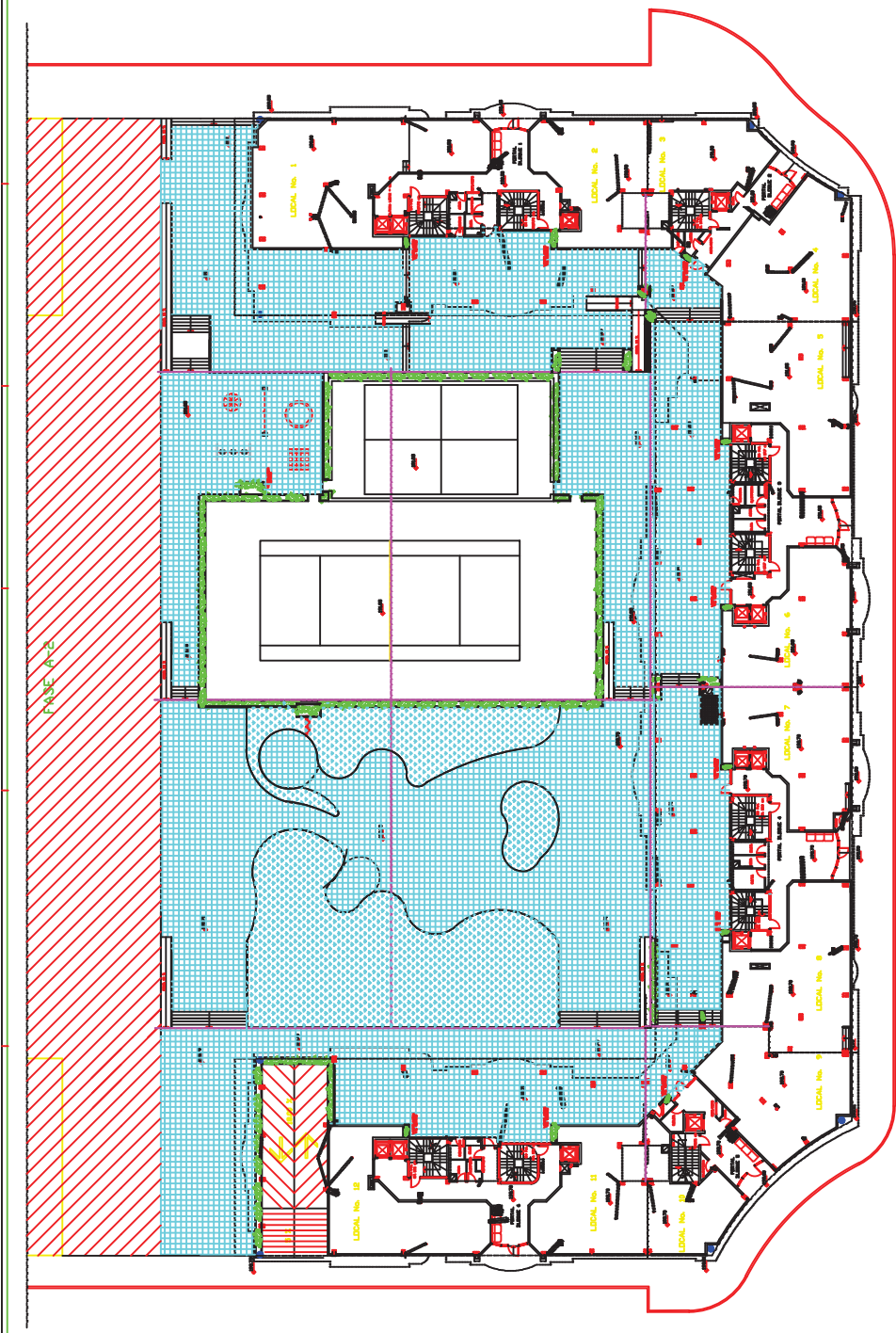
M.d.L.
DELINKEON

PROYECTO	PROYECTO BANCO PARA 32 VIVIENDAS, LOCALES COMERCIALES Y GARAJES	FECHA	JULIO 2018	HOJA	A-29
PROYECTANTE	INSTITUTO VENEZOLANO DE VIVIENDAS	PROYECTADO POR	INSTITUTO VENEZOLANO DE VIVIENDAS	PROYECTADO POR	4/199
PROYECTANTE	INSTITUTO VENEZOLANO DE VIVIENDAS	PROYECTADO POR	INSTITUTO VENEZOLANO DE VIVIENDAS	PROYECTADO POR	4/199
PROYECTANTE	INSTITUTO VENEZOLANO DE VIVIENDAS	PROYECTADO POR	INSTITUTO VENEZOLANO DE VIVIENDAS	PROYECTADO POR	4/199

PROYECTO: PASADU PARA EL VENTURA		FOLIO: 28	
LUGAR: CANTON DE VENTURA		Escala: 1:500	
FECHA: 1978		AUTOR: J. J. J.	
DISEÑADOR: J. J. J.		REVISOR: J. J. J.	
APROBADO: J. J. J.		FECHA: 1978	
TITULO: PASADU PARA EL VENTURA		AUTOR: J. J. J.	
DISEÑADOR: J. J. J.		REVISOR: J. J. J.	
APROBADO: J. J. J.		FECHA: 1978	

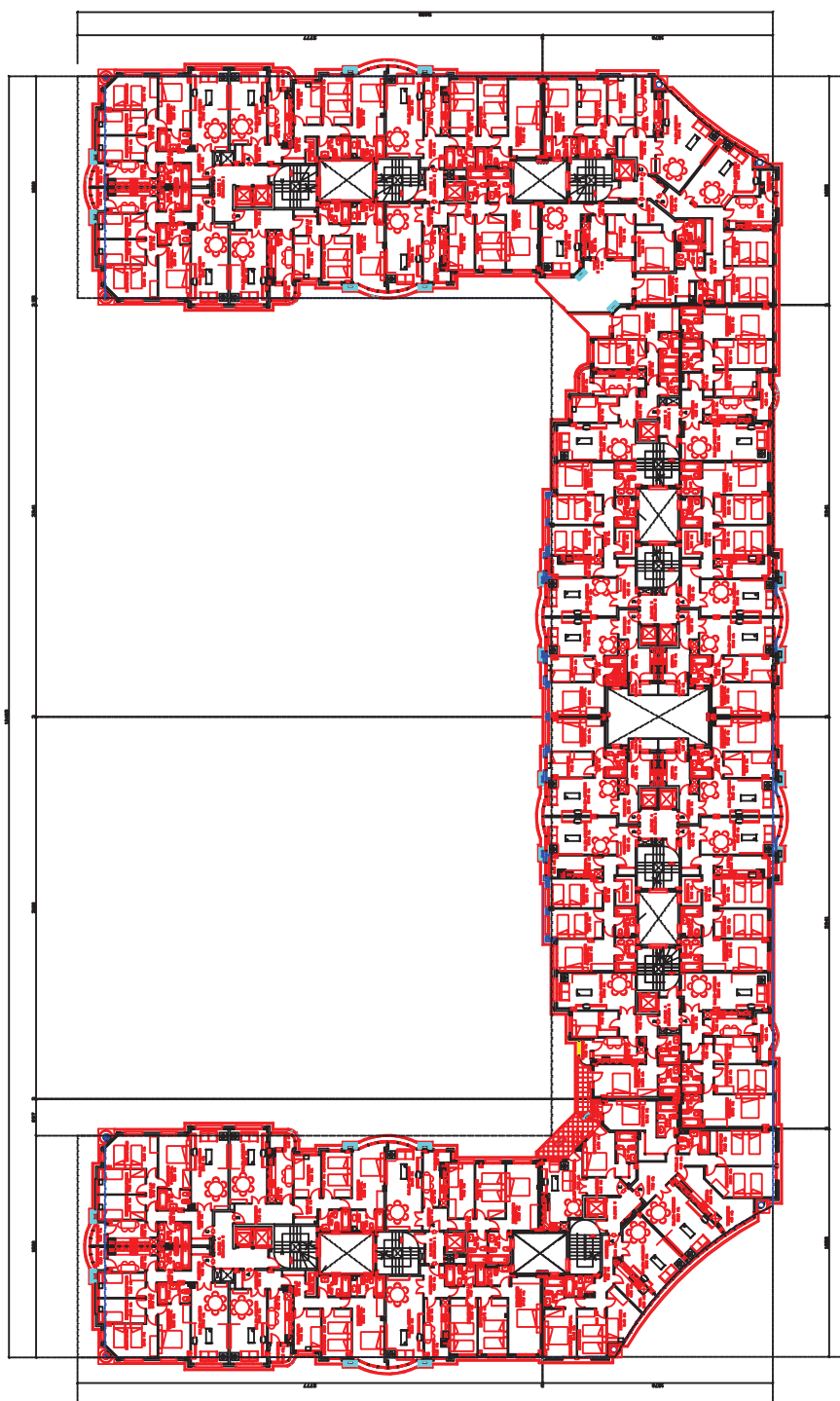






CUADRO DE SUPERFICIES			
ITEM	DESCRIPCION	AREA (m²)	AREA TOTAL (m²)
1	LOTE No. 1	100.00	100.00
2	LOTE No. 2	100.00	200.00
3	LOTE No. 3	100.00	300.00
4	LOTE No. 4	100.00	400.00
5	LOTE No. 5	100.00	500.00
6	LOTE No. 6	100.00	600.00
7	LOTE No. 7	100.00	700.00
8	LOTE No. 8	100.00	800.00
9	LOTE No. 9	100.00	900.00
10	LOTE No. 10	100.00	1000.00
11	LOTE No. 11	100.00	1100.00
12	LOTE No. 12	100.00	1200.00
TOTAL			
			1200.00

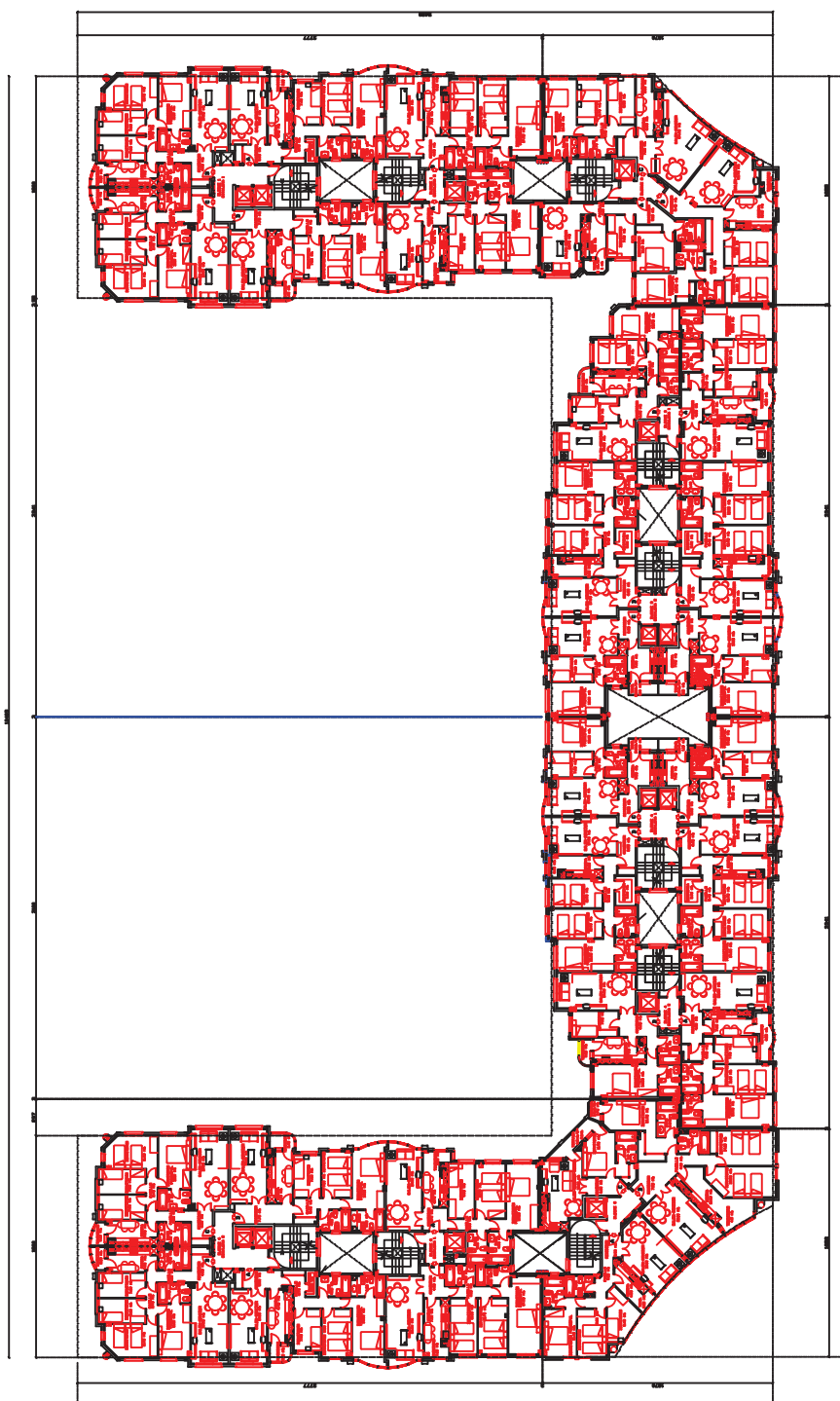
PROYECTO: PLAN DE VIVIENDA
 AREA: 1200 m²
 C-3
 4/20

[illegible]

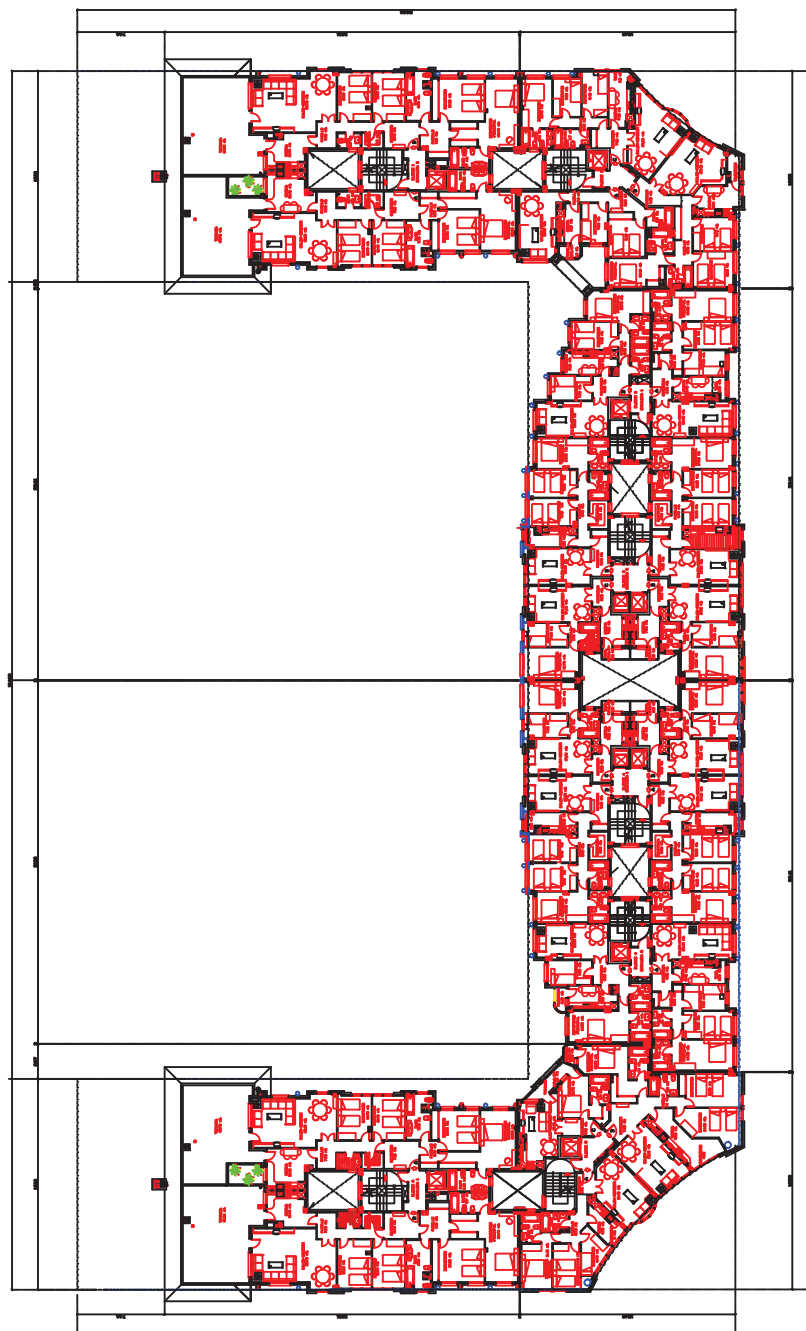
**PROYECTO LEY PARA LAS VIVIENDAS,
LOCALES COMERCIALES Y GARAJES**

25

—

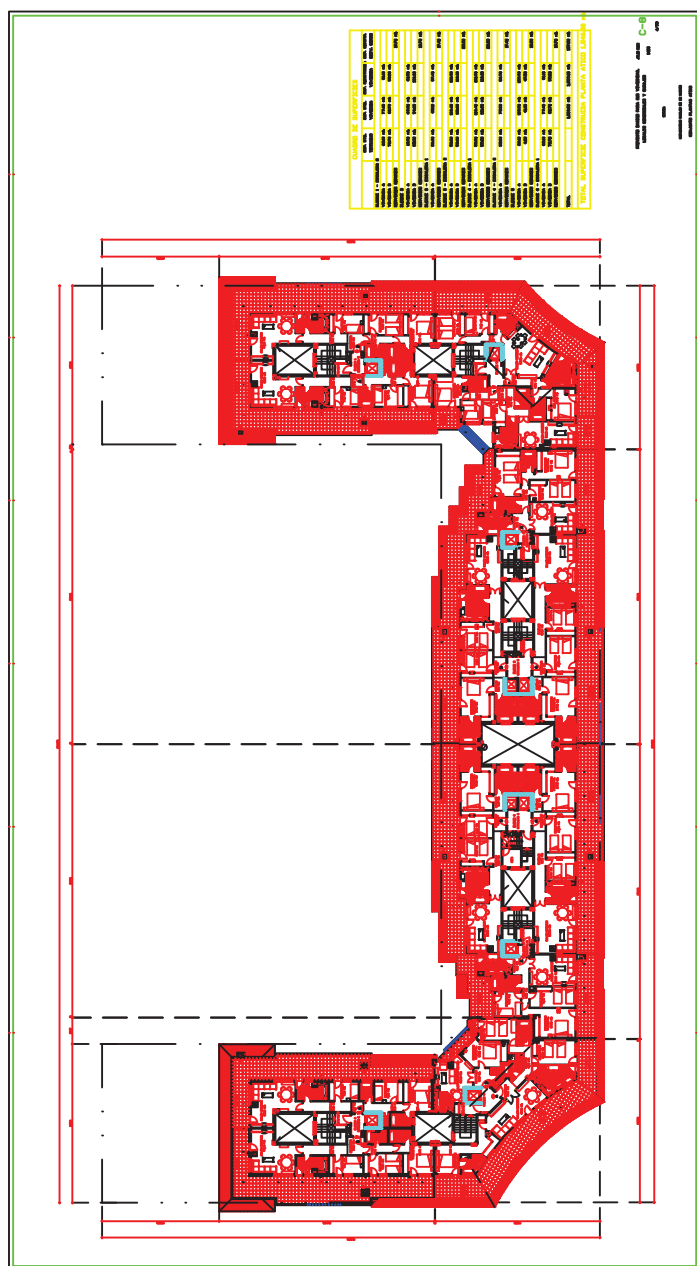


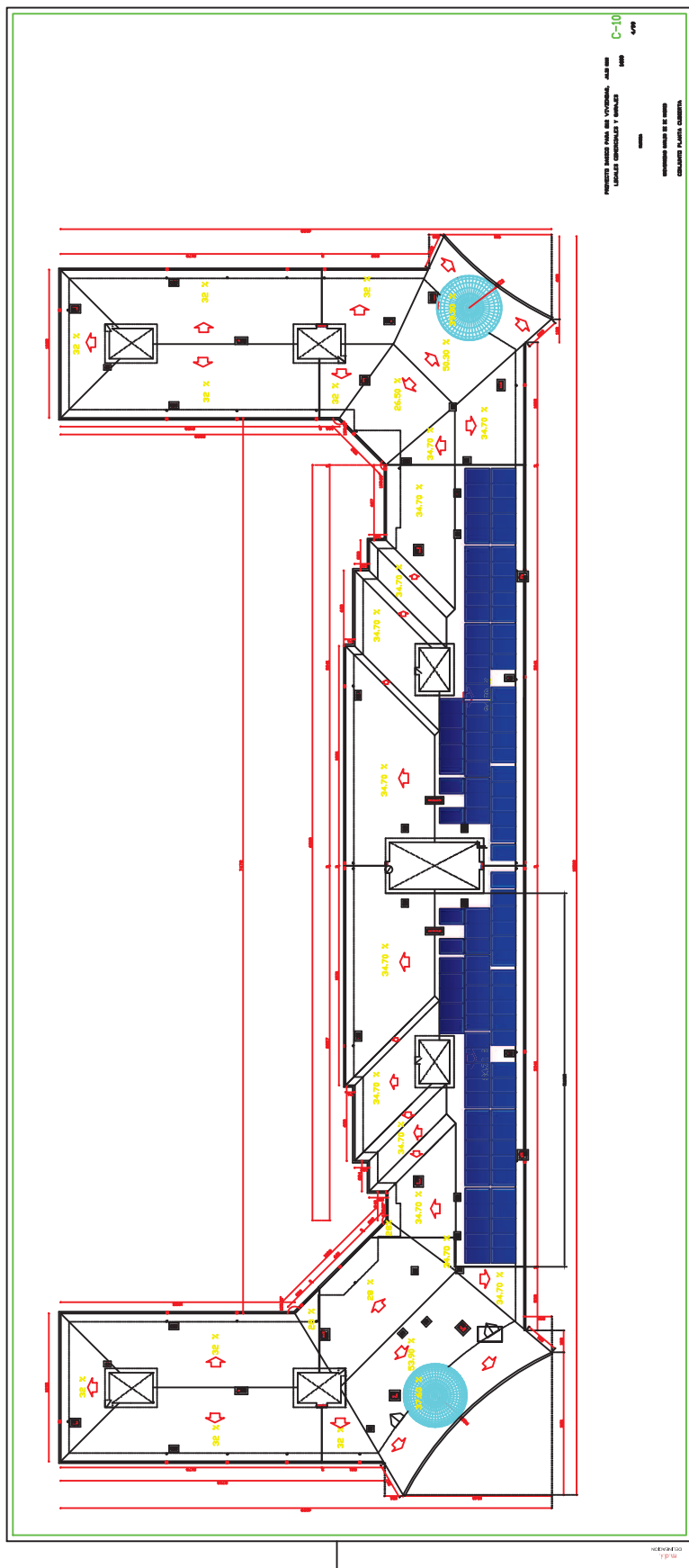
**REFLECTE SOBRE PARA QUE VIVIRAS,
LOCALES COMERCIALES Y GANADEROS**



CLASIFICACIÓN DE EMPLEADOS									
CATEGORÍA	NOMBRE	CÓDIGO	NÚM. VOTOS		NÚM. VOTOS		NÚM. VOTOS		TOTAL
			PRIMER VOTO	SEGUNDO VOTO	PRIMER VOTO	SEGUNDO VOTO	PRIMER VOTO	SEGUNDO VOTO	
1	ALFONSO GARCÍA	1001	1	1	1	1	1	1	1
2	ANTONIO GARCÍA	1002	1	1	1	1	1	1	1
3	BARTOLOMÉ GARCÍA	1003	1	1	1	1	1	1	1
4	CARLOS GARCÍA	1004	1	1	1	1	1	1	1
5	DOMINGO GARCÍA	1005	1	1	1	1	1	1	1
6	EDUARDO GARCÍA	1006	1	1	1	1	1	1	1
7	FELIX GARCÍA	1007	1	1	1	1	1	1	1
8	GABRIEL GARCÍA	1008	1	1	1	1	1	1	1
9	HENRIQUE GARCÍA	1009	1	1	1	1	1	1	1
10	ISIDRO GARCÍA	1010	1	1	1	1	1	1	1
11	JUAN GARCÍA	1011	1	1	1	1	1	1	1
12	JUAN CARLOS GARCÍA	1012	1	1	1	1	1	1	1
13	LEONARDO GARCÍA	1013	1	1	1	1	1	1	1
14	LUIS GARCÍA	1014	1	1	1	1	1	1	1
15	MARTÍN GARCÍA	1015	1	1	1	1	1	1	1
16	MANUEL GARCÍA	1016	1	1	1	1	1	1	1
17	RICARDO GARCÍA	1017	1	1	1	1	1	1	1
18	RODOLFO GARCÍA	1018	1	1	1	1	1	1	1
19	SALVADOR GARCÍA	1019	1	1	1	1	1	1	1
20	TEODORO GARCÍA	1020	1	1	1	1	1	1	1
21	VÍCTOR GARCÍA	1021	1	1	1	1	1	1	1
22	WILFREDO GARCÍA	1022	1	1	1	1	1	1	1
23	XOSÉ GARCÍA	1023	1	1	1	1	1	1	1
24	YOLANDA GARCÍA	1024	1	1	1	1	1	1	1
25	ZORBA GARCÍA	1025	1	1	1	1	1	1	1
26	ALFONSO GARCÍA	1026	1	1	1	1	1	1	1
27	ANTONIO GARCÍA	1027	1	1	1	1	1	1	1
28	BARTOLOMÉ GARCÍA	1028	1	1	1	1	1	1	1
29	CARLOS GARCÍA	1029	1	1	1	1	1	1	1
30	DOMINGO GARCÍA	1030	1	1	1	1	1	1	1
31	EDUARDO GARCÍA	1031	1	1	1	1	1	1	1
32	FELIX GARCÍA	1032	1	1	1	1	1	1	1
33	GABRIEL GARCÍA	1033	1	1	1	1	1	1	1
34	HENRIQUE GARCÍA	1034	1	1	1	1	1	1	1
35	ISIDRO GARCÍA	1035	1	1	1	1	1	1	1
36	JUAN GARCÍA	1036	1	1	1	1	1	1	1
37	JUAN CARLOS GARCÍA	1037	1	1	1	1	1	1	1
38	LEONARDO GARCÍA	1038	1	1	1	1	1	1	1
39	LUIS GARCÍA	1039	1	1	1	1	1	1	1
40	MARTÍN GARCÍA	1040	1	1	1	1	1	1	1
41	MANUEL GARCÍA	1041	1	1	1	1	1	1	1
42	RICARDO GARCÍA	1042	1	1	1	1	1	1	1
43	RODOLFO GARCÍA	1043	1	1	1	1	1	1	1
44	SALVADOR GARCÍA	1044	1	1	1	1	1	1	1
45	TEODORO GARCÍA	1045	1	1	1	1	1	1	1
46	VÍCTOR GARCÍA	1046	1	1	1	1	1	1	1
47	WILFREDO GARCÍA	1047	1	1	1	1	1	1	1
48	XOSÉ GARCÍA	1048	1	1	1	1	1	1	1
49	YOLANDA GARCÍA	1049	1	1	1	1	1	1	1
50	ZORBA GARCÍA	1050	1	1	1	1	1	1	1

REPORTES SOBRE PARA LOS VOTANTES,
LENGUAJES COMUNITARIOS Y MÁS
C-7





ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE CAPTACIÓN

Propiedades de los fluidos:

$$c_1 := 3960 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \rho_1 := 1003 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_2 := 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \rho_2 := 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_{\text{cons}} := c_2$$

$$m_{\text{cons}} := 0.4635 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$A_{\text{coll}} := 842 \cdot 0.5 \text{m}^2 = 421 \text{m}^2 \quad A_c := 2.301 \text{m}^2$$

el caudal que cicula por los colectores se pone el recomendado por el fabricante

$$m_1 := 150 \frac{\text{l}}{\text{hr} \cdot A_c} \cdot A_{\text{coll}} \cdot \rho_1 = 7.646 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad m_2 := m_1$$

$$c_{\text{min}} := \min(c_1 \cdot m_1, c_2 \cdot m_2)$$

Coefficientes de la curva de normalizacion del captador:

$$\eta_0 := 0.753 \quad a_1 := 3.91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad a_2 := 0.003 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^2}$$

$$f := 0.7 \quad \epsilon_{\text{IC}} := 0.7 \quad E_t := 0.25$$

Datos medios anuales:

$$T_{\text{sum}} := 60\text{K} + 273.15\text{K} = 333.15 \text{K}$$

$$T_{\text{red}} := 12.3\text{K} + 273.15\text{K} = 285.45 \text{K}$$

$$T_0 := 19.3\text{K} + 273.15\text{K} = 292.45 \text{K}$$

$$H_T := 510.675 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Temperatura de consumo, teniendo en cuenta que $f=0.7$

$$f := \frac{T_{\text{cons}} - T_{\text{red}}}{T_{\text{sum}} - T_{\text{red}}}$$

$$T_{\text{cons}} := f \cdot (T_{\text{sum}} - T_{\text{red}}) + T_{\text{red}}$$

$$T_{\text{cons}} = 318.84 \text{K}$$

Temperatura media del acumulador y grado de estratificación, con este igual a 0.25

$$T_t := \frac{m_2 \cdot T_{ico} + m_{cons} \cdot T_{red}}{m_2 + m_{cons}}$$

$$E_t := \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t} \quad T_{ico} := \frac{T_{cons} - 0.75 \cdot T_t}{0.25} \quad T_{ico} := 4T_{cons} - 3T_t$$

$$T_t := \frac{m_2 \cdot (4T_{cons} - 3T_t) + m_{con} \cdot T_{red}}{m_2 + m_{cons}}$$

$$T_t := \frac{m_2 \cdot 4T_{cons} + m_{cons} \cdot T_{red}}{m_2 + m_{cons} + 3m_2}$$

$$T_t = 318.342 \text{ K}$$

$$T_{ico} := 4T_{cons} - 3T_t$$

$$T_{ico} = 320.335 \text{ K}$$

Balance de energía en el acumulador para sacar la temperatura Tici

$$m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) := m_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

$$T_{ici} := T_{ico} - \frac{m_{cons} \cdot c_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})}{m_2 \cdot c_2}$$

$$T_{ici} = 318.311 \text{ K}$$

Comprobamos que el orden de temperaturas es el correcto.

$$T_{ico} > T_{cons} > T_t > T_{ici} > T_{red}$$

$$T_{ico} = 320.335 \text{ K} \quad T_{cons} = 318.84 \text{ K} \quad T_t = 318.342 \text{ K} \quad T_{ici} = 318.311 \text{ K} \quad T_{red} = 285.45 \text{ K}$$

ahora se sacan las temperaturas del captador.

Eficiencia del intercambiador para sacar la temperatura de salida del captador. $\epsilon=0.7$

$$\epsilon_{IC} := \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{c_{min} \cdot (T_{co} - T_{ici})}$$

$$T_{co} := T_{ici} + \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{c_{min} \cdot \epsilon_{IC}}$$

$$T_{co} = 321.365 \text{ K}$$

Intercambiador simetrico, con esto sacamos la Tci

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) := m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})$$

$$T_{ci} := T_{co} - \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{m_1 \cdot c_1}$$

$$T_{ci} = 319.227 \text{ K}$$

Temperatura media del captador solar

$$T_m := \frac{T_{co} + T_{ci}}{2}$$

$$T_m = 320.296 \text{ K}$$

Balance de energia en el captador para saber el área de captadores

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) := H_T \cdot A_{col} \cdot \left[a_0 - a_1 \cdot \frac{T_m - T_0}{H_T} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \right]$$

$$A_{col} := \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci})}{H_T \cdot \left[\eta_0 - a_1 \cdot \frac{T_m - T_0}{H_T} - a_2 \cdot \frac{(T_m - T_0)^2}{H_T} \right]}$$

$$A_{col} = 236.787 \text{ m}^2$$

numero de captadores necesarios:

$$n_{cap} := \text{ceil} \left(\frac{A_{col}}{A_c} \right) = 103$$

$$A_{col} := n_{cap} \cdot A_c = 237.003 \text{ m}^2$$

$$A_{col} = 237.003 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR DE ACS:

Caso simplificado: sin pérdidas en tuberías ni en acumulador. Régimen estacionario.

1.- DATOS:

TA :=

Indicador: datos totales y datos mensuales y anual y datos para ACS

i := 1 .. rows(TA)

$H_{ad} := TA^{(1)}$

$T_{0C} := TA^{(5)}$

$V_{condia\%} := TA^{(6)}$

$T_{redC} := TA^{(7)}$

$A_{col} := 248.508 \cdot m^2$

$Ac := 2.301 m^2$

$H_{d_{ad}} := TA^{(2)}$

Latitud

$\phi := 38 \cdot deg$

Inclinación

$\beta := 34.7 deg$

Orientación

$\gamma := 0 \cdot deg$

Reflectividad del suelo:

$\rho_g := 0.2$

$$H_i := H_{ad_i} \cdot \frac{W \cdot hr}{m^2}$$

$$H_{d_i} := H_{d_{ad_i}} \cdot \frac{W \cdot hr}{m^2}$$

Temperatura ambiente:

$$T_0 := T_{0C} \cdot K + 273.15 \cdot K$$

diasmes :=

	1
1	31
2	2
3	3
4	3
5	31
6	30
7	31
8	31
9	30
10	31
11	30
12	31

$$n_i := \left(\sum_{mes=1}^i diasmes_{mes} \right) - \frac{diasmes_i}{2}$$

$$\sum_{mes=1}^{12} diasmes_{mes} = 365$$

n =

	1
1	15.5
2	45
3	74.5
4	105
5	135.5
6	166
7	196.5
8	227.5
9	258
10	288.5
11	319
12	349.5

$$\delta_i := \overrightarrow{\left[23.45 \cdot \text{deg} \cdot \sin \left[\frac{360 \cdot \text{deg}}{365} \cdot (284 + n) \right] \right]}$$

Angulo horario de salida y puesta del sol sobre el plano horizontal (z) :

$$\omega_{sz_i} := \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta_i))$$

Angulo horario de salida y puesta del sol sobre el plano inclinado (T) :

$$\omega_{sT_i} := \text{acos}(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan(\delta_i))$$

$$x := \text{if} \left(\gamma = 0, 0, \frac{\cos(\phi)}{\sin(\gamma) \cdot \tan(\beta)} + \frac{\sin(\phi)}{\tan(\gamma)} \right) = 0 \quad y_i := \text{if} \left[\gamma = 0, 0, \tan(\delta_i) \cdot \left(\frac{\sin(\phi)}{\sin(\gamma) \cdot \tan(\beta)} - \frac{\cos(\phi)}{\tan(\gamma)} \right) \right]$$

Salida del sol para el captador (plano inclinado):

$$\omega_{srT_i} := \min \left[\omega_{sz_i}, \text{if} \left[\gamma = 0, \omega_{sT_i}, \text{if} \left[\gamma > 0, \text{acos} \left[\frac{-x \cdot y_i - \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right], \text{acos} \left[\frac{-x \cdot y_i + \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right] \right] \right] \right]$$

Puesta del sol para el captador (plano

$$\omega_{ssT_i} := \min \left[\omega_{sz_i}, \text{if} \left[\gamma = 0, \omega_{sT_i}, \text{if} \left[\gamma > 0, \text{acos} \left[\frac{-x \cdot y_i + \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right], \text{acos} \left[\frac{-x \cdot y_i - \sqrt{x^2 - (y_i)^2 + 1}}{x^2 + 1} \right] \right] \right] \right]$$

$$h_{sz_i} := 2 \omega_{sz_i} \cdot \frac{24 \cdot \text{hr}}{360 \cdot \text{deg}} \quad h_{sT_i} := (\omega_{srT_i} + \omega_{ssT_i}) \cdot \frac{24 \cdot \text{hr}}{360 \cdot \text{deg}} \quad HW := \overrightarrow{\left(\frac{H}{h_{sz}} \right)} \quad HdW := \overrightarrow{\left(\frac{Hd}{h_{sz}} \right)}$$

Irradiación extraterrestre diaria:

$$G_{0n_i} := 1367 \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n_i}{365} \cdot \text{deg} \right) \right) \cdot \frac{W}{m^2}$$

$$H_{0_i} := 2 \cdot \frac{12 \cdot 3600 \cdot s \cdot G_{0n_i}}{\pi} \cdot \left(\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \sin(\omega_{sz_i}) + \omega_{sz_i} \cdot \sin(\phi) \sin(\delta_i) \right)$$

$$H_{0\beta_i} := 2 \cdot \frac{12 \cdot 3600 \cdot s \cdot G_{0n_i}}{\pi} \cdot \left(\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta_i) \cdot \sin(\omega_{ssT_i}) + \omega_{ssT_i} \cdot \sin(\phi - \beta) \sin(\delta_i) \right)$$

$$\omega_{srT_i} := -\omega_{srT_i}$$

Índice de transparencia atmosférica

$$k_{T_i} := \frac{H_i}{H_{0_i}}$$

Proporción de radiación
difusa

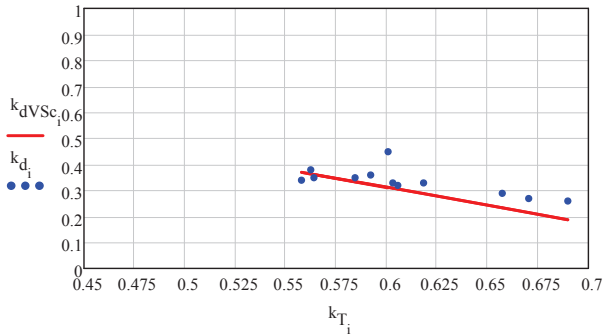
Correlación de Vázquez y Santos corregida por declinación (Rodríguez 2010):

Para ser utilizada en la estimación de la fracción de radiación difusa, cuando no se dispone de datos de irradiación difusa diaria.

$$k_{dVSc_i} := \begin{cases} k_{T_i} & \text{if } k_{T_i} \leq 0.15 \\ \left[(0.56 + 0.02 \cdot \delta_i)^{0.35} \cdot \left[-0.0434526 + 1.55331 \cdot k_{T_i} - 1.82879 \cdot (k_{T_i})^2 \right] \right] & \text{if } 0.15 \leq k_{T_i} < 0.77 \\ 0.06 & \text{otherwise} \end{cases}$$

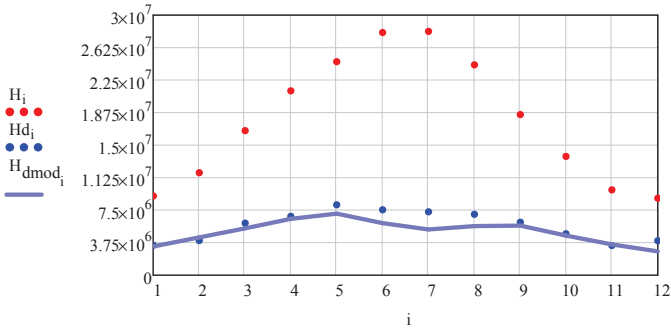
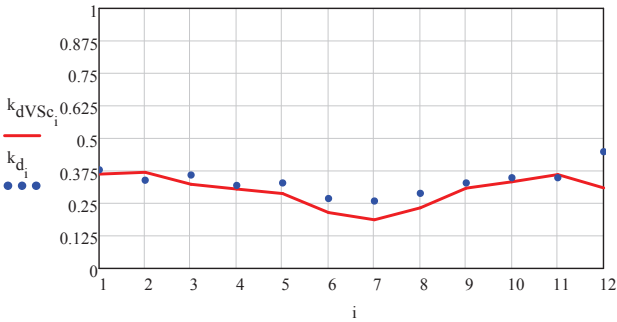
$$k_{dVSc_i} := \frac{k_{dVSc_i}}{k_{T_i}} \quad \text{Vázquez y Santos definen Kd como Hd/H0 en lugar de como hace el resto (Hd/H).}$$

Kd experimental: $k_{d_i} := \frac{H_{d_i}}{H_i}$



$H_{dmod_i} := H_i \cdot k_{dVS c_i}$ $H_{bmod_i} := H_i - H_{dmod_i}$

$Hb_i := H_i - Hd_i$



Radiación sobre plano inclinado:

Cálculo de Rb y de los factores de forma de la superficie inclinada (captador):

$$H_{0T_i} := H_{0\beta_i} \quad Rb_i := \frac{H_{0T_i}}{H_{0_i}} \quad F_{c_s} := \frac{1 + \cos(\beta)}{2} = 0.911 \quad F_{c_g} := \frac{1 - \cos(\beta)}{2} = 0.089$$

Modelo anisotrópico o HDKR (Hay, Davies, Klucher & Reindl):

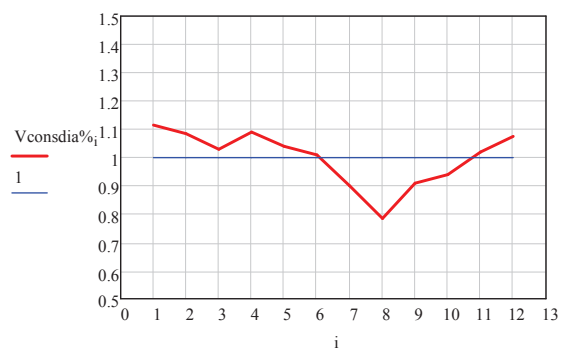
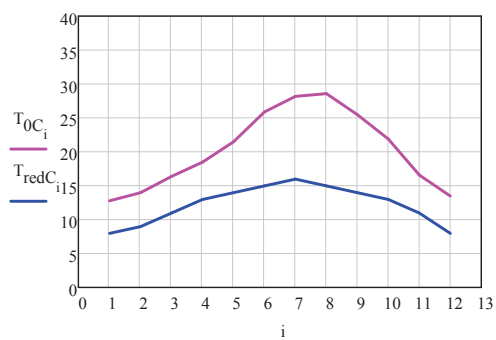
$$A_{i_i} := \frac{Hb_i}{H_{0_i}} \quad f_i := \sqrt{\frac{Hb_i}{H_i}} \quad H_{T_directa_i} := Hb_i \cdot Rb_i \quad H_{T_difusa_circun_i} := Hd_i \cdot A_{i_i} \cdot Rb_i \quad H_{T_difusa_cielo_i} := Hd_i \cdot (1 - A_{i_i}) \cdot F_{c_s}$$

$$H_{T_difusa_horizonte_i} := Hd_i \cdot (1 - A_{i_i}) \cdot f_i \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3 \quad H_{T_reflejada_i} := H_i \cdot \rho_g \cdot F_{c_g}$$

$$H_{T_aniso_i} := H_{T_directa_i} + H_{T_difusa_circun_i} + H_{T_difusa_cielo_i} \cdots \\ + H_{T_difusa_horizonte_i} + H_{T_reflejada_i}$$

$$HW_{T_i} := \frac{H_{T_aniso_i}}{h_{sT_i}}$$

Datos de demanda:



Rendimiento del captador y parámetros de la instalación:

$$a0 := 0.753$$

$$a1 := 3.91 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$a2 := 0.003 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K^2}$$

Efectividad del IC:

$$\epsilon_{IC} := 0.7$$

Propiedades del, flujo primario (agua con propilenglicol al 35%):

$$cp1 := 3960 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\rho1 := 1003 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

Propiedades del, flujo secundario (agua pura):

$$cp2 := 4182 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\rho2 := 998.2 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

Propiedades del, flujo de consumo (agua)

$$cp_{cons} := 4182 \cdot \frac{J}{kg \cdot K} \quad \rho_{cons} := 998.2 \cdot \frac{kg}{m^3}$$

Consumo diario de ACS:

$$V_{consdia} := (V_{consdia} \% \cdot 22.842 \cdot L)$$

$$m_{cons} := \frac{V_{consdia} \cdot \rho_{cons}}{h_s T}$$

Temperatura de ACS:

$$T_{sum} := 60 \cdot K + 273.15 \cdot K \quad T_{red} := T_{redC} \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Q_{cons} := [m_{cons} \cdot cp_{cons} \cdot (T_{sum} - T_{red})]$$

Grado de estratificación del acumulador:

$$Et := 0.25 \quad \text{Definido como: } (T_{cons} - T_t) / (T_{ico} - T_t)$$

Valores iniciales de los parámetros variables:

Gasto másico del primario calculado en función de la superficie de captadores y la recomendación del fabricante:

$$m1 := 150 \cdot \frac{L}{hr} \cdot \frac{1}{Ac} \cdot \rho1 \cdot Aco$$

Para ver el efecto de no poner el gasto nominal: $m1 := m1 \cdot 1$ $m1 = 4.513 \frac{kg}{s}$

$$C1 := m1 \cdot cp1 \quad C1 = 1.787 \times 10^4 \frac{1}{K} \cdot W$$

Gasto másico del secundario:

$$m2 := m1 \quad m2 = 4.513 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$C2 := m2 \cdot cp2 \quad C2 = 1.888 \times 10^4 \frac{1}{\text{K}} \cdot \text{W}$$

$$Cmin := \min(C1, C2) \quad Cmin = 1.787 \times 10^4 \frac{1}{\text{K}} \cdot \text{W}$$

Valores iniciales de las incógnitas:

$$Tci_i := 40 \cdot K + 273.15 \cdot K \quad Tci_i := 80 \cdot K + 273.15 \cdot K \quad Tco_i := 90 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Tico_i := 80 \cdot K + 273.15 \cdot K \quad Tcons_i := 45 \cdot K + 273.15 \cdot K$$

$$Tt := \frac{Tico + Tred}{2} \quad \text{Fracción solar estimada:} \quad f_i := 0.6 \quad T_{m_i} := \frac{Tco_i + Tci_i}{2}$$

Sistema de ecuaciones:

Dado

$$\overrightarrow{[C1 \cdot (Tco - Tci)]} = \overrightarrow{\left[HW_T \cdot Acol \cdot \left[a0 - \frac{T_m - T0}{HW_T} \cdot a1 - a2 \cdot \left(\frac{T_m - T0}{HW_T} \right)^2 \right] \cdot HW_T \right]}$$

$$\overrightarrow{[C1 \cdot (Tco - Tci)]} = \overrightarrow{[C2 \cdot (Tico - Tici)]}$$

$$\epsilon_{ic} = \frac{\overrightarrow{C2 \cdot (Tico - Tici)}}{Cmin \cdot (Tco - Tici)}$$

$$\overrightarrow{[C2 \cdot (Tico - Tici)]} = \overrightarrow{[mcons \cdot cpcons \cdot (Tcons - Tred)]}$$

$$f = \frac{\overrightarrow{T_{\text{cons}} - T_{\text{red}}}}{T_{\text{sum}} - T_{\text{red}}}$$

$$Et = \frac{\overrightarrow{T_{\text{cons}} - T_t}}{T_{\text{ico}} - T_t}$$

$$T_t = \frac{\overrightarrow{T_{\text{ico}} \cdot m_2 + T_{\text{red}} \cdot m_{\text{cons}}}}{m_2 + m_{\text{cons}}}$$

$$T_m = \frac{\overrightarrow{(T_{\text{co}} + T_{\text{ci}})}}{2}$$

$$\begin{pmatrix} \text{var1} \\ \text{var2} \\ \text{var3} \\ \text{var4} \\ \text{var5} \\ \text{var6} \\ \text{var7} \\ \text{var8} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_{\text{ci}}, T_{\text{ci}}, T_{\text{co}}, T_{\text{ico}}, T_{\text{cons}}, T_t, f, T_m)$$

$$T_{\text{ci}} := \text{var1} \quad T_{\text{ci}} := \text{var2} \quad T_{\text{co}} := \text{var3} \quad T_{\text{ico}} := \text{var4} \quad T_{\text{cons}} := \text{var5} \quad T_m := \text{var8}$$

$$\text{TT} := \text{var6} \quad f := \text{var7} \quad \varepsilon_{\text{ic}} = 0.7 \quad Et = 0.25 \quad \boxed{A_{\text{col}} = 248.508 \text{ m}^2}$$

$$\eta_c := \left[a_0 - \frac{T_{\text{ci}} - T_0}{HW_T} \cdot a_1 - a_2 \cdot \left(\frac{T_{\text{ci}} - T_0}{HW_T} \right)^2 \cdot HW_T \right]$$

$$Q_{\text{col}} := \overrightarrow{[C_1 \cdot (T_{\text{co}} - T_{\text{ci}})]}$$

Resultados:

$\text{mean}(\eta_c) = 0.537$

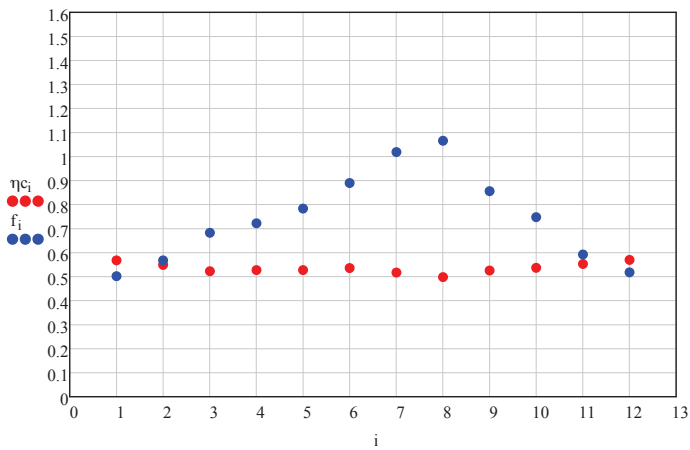
$\text{mean}(Q_{col}) = 6.61 \times 10^4 \text{ W}$

$\text{mean}(f) = 0.746$

La media de f no es el f anual, porque cada mes tiene una radiación distinta.

$$f_{\text{anual}} := \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{col,i}}{\sum_{i=1}^{12} Q_{cons,i}}$$

$f_{\text{anual}} = 0.708$



DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS

DATOS:

- Circuito primario (agua con propilenglicol):

$$c_1 := 3960 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \rho_1 := 1003 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu_1 := 0.001 \text{Pa} \cdot \text{s} \quad k_1 := 0.525 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$T_{\text{co}} := 324.918 \text{K} \quad T_{\text{ci}} := 321.22 \text{K} \quad m_1 := 150 \frac{\text{l}}{\text{hr}} \cdot \rho_1 \cdot 54 = 2.257 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Circuito secundario (agua):

$$c_2 := 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \rho_2 := 998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu_2 := 0.001003 \text{Pa} \cdot \text{s} \quad k_2 := 0.6 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$T_{\text{ico}} := 323.137 \text{K} \quad T_{\text{ici}} := 319.635 \text{K} \quad m_2 := m_1 = 2.257 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$R_{\text{ens}} := 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

- Dimensiones del intercambiador de placas:

$$b := 0.0024 \text{m} \quad \text{separacion entre placas}$$

$$L_p := 0.920 \text{m} \quad \text{altura de la placa}$$

$$w_p := 0.320 \text{m} \quad \text{ancho de la placa}$$

$$e_p := 0.0005 \text{m} \quad \text{espesor de la placa}$$

$$k_p := 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{coeficiente de conductividad térmica de la placa (acero inoxidable)}$$

$$A_{\text{placa}} := L_p \cdot w_p = 0.294 \text{m}^2$$

$$A_{\text{canal}} := b \cdot w_p = 7.68 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\epsilon_{\text{IC}} := 0.7$$

$$L_c := \frac{4 \cdot b \cdot w_p}{2 \cdot w_p} = 4.8 \cdot \text{mm}$$

$$C_{\text{min}} := \min(c_1 \cdot m_1, c_2 \cdot m_2) \quad C_{\text{min}} = 8.937 \times 10^3 \cdot \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

CALCULO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR:

calor que se transfiere:

$$Q_{IC} := m_1 \cdot c_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = 3.305 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{IC2} := m_2 \cdot c_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = 3.305 \times 10^4 \text{ W}$$

Coefficiente global de transferencia:

$$U := \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_p}{k_p} + \frac{1}{h_2} + R_{ens_1} + R_{ens_2}}$$

$$h := \frac{Nu \cdot k}{L_c}$$

$$Nu := 0.4 \cdot Re^{0.64} \cdot Pr^{0.4}$$

$$Pr := \frac{\mu \cdot c_p}{k}$$

$$Re := \frac{\rho \cdot v \cdot L_c}{\mu}$$

$$v := \frac{m_{canal}}{\rho \cdot A_{canal}}$$

$$m_{canal} := \frac{2 \cdot m}{N - 1}$$

Para resolver las ecuaciones anteriores se deberá primero estimar un número de placas (N) para comenzar las iteraciones.

$$N_p := 16$$

$$m_{canal} := \frac{2 \cdot m_1}{N_p + 1}$$

$$m_{canal} = 0.265 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$v_1 := \frac{m_{canal}}{\rho_1 \cdot A_{canal}}$$

$$v_1 = 0.345 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 := \frac{m_{canal}}{\rho_2 \cdot A_{canal}}$$

$$v_2 = 0.346 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_1 := \frac{\rho_1 \cdot v_1 \cdot L_c}{\mu_1}$$

$$Re_1 = 1.659 \times 10^3$$

$$Re_2 := \frac{\rho_2 \cdot v_2 \cdot L_c}{\mu_2}$$

$$Re_2 = 1.654 \times 10^3$$

$$Pr_1 := \frac{\mu_1 \cdot c_1}{k_1}$$

$$Pr_1 = 7.543$$

$$Pr_2 := \frac{\mu_2 \cdot c_2}{k_2}$$

$$Pr_2 = 6.991$$

$$Nu_1 := 0.4 \cdot Re_1^{0.64} \cdot Pr_1^{0.4} \quad Nu_1 = 103.238$$

$$Nu_2 := 0.4 \cdot Re_2^{0.64} \cdot Pr_2^{0.4} \quad Nu_2 = 99.955$$

$$h_1 := \frac{Nu_1 \cdot k_1}{L_c} \quad h_1 = 11.292 \cdot \frac{10^3 W}{K \cdot m^2}$$

$$h_2 := \frac{Nu_2 \cdot k_2}{L_c} \quad h_2 = 12.494 \cdot \frac{10^3 W}{K \cdot m^2}$$

$$U := \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_p}{k_p} + \frac{1}{h_2} + R_{ens}} = 4.312 \cdot \frac{10^3 W}{m^2 \cdot K}$$

Calcular el area de intercambio necesaria de intercambiador:

$$Q := U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} := \frac{(T_{co} - T_{ico}) - (T_{ci} - T_{ici})}{\ln \left(\frac{T_{co} - T_{ico}}{T_{ci} - T_{ici}} \right)} = 1.681 K$$

$$A_{IC} := \frac{Q_{IC}}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad A_{IC} = 4.559 m^2$$

Obtenemos el numero de placas que se necesitan:

$$N_{pl} := \frac{A_{IC}}{A_{placa}} = 15.487$$

Solar Collector Factsheet

Thermital TSOL 25



Modelo TSOL 25
Tipo Colector plano
Fabricante Thermital
Dirección Via Mussa, 20 Z.I.

Teléfono +39 049 932 3911
Telefax +39 049 936 6400
Email info@thermital.it
Internet www.thermital.com
Fecha de ensayo 08.2008

- ☒ Ensayo de rendimiento EN12975:2006
- ☒ Ensayo de durabilidad EN12975:2006



Dimensiones

Longitud total	2.078 m
Anchura total	1.240 m
Superficie bruta	2.577 m ²
Área de apertura	2.301 m ²
Área de absorbedor	2.153 m ²
Peso vacío	48 kg

Datos técnicos

Caudal mínimo	20 l/h
Caudal nominal	75 l/h
Caudal máximo	150 l/h
Contenido de fluido	1.6 l
Presión máxima de operación	10 bar
Temperatura de estancamiento	206 °C

Montaje del captador

- ☒ En tejado con inclinación
- ☒ Integrado en tejado con inclinación
- ☒ Sobre tejado plano con estructura
- ☐ A la fachada

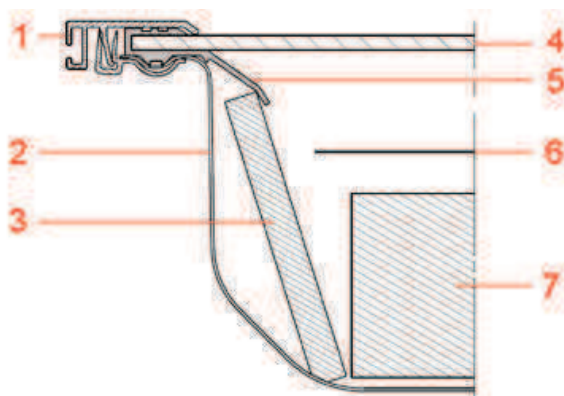
Informaciones adicionales

- ☐ Módulos disponibles en diversos tamaños
- ☐ Cubierta intercambiable

Conexiones hidráulicas

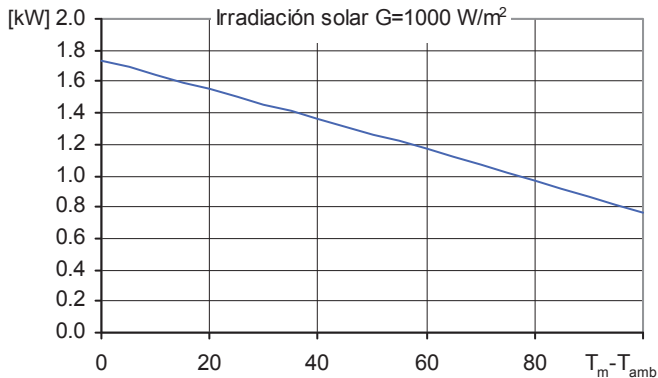
G1"

Construcción

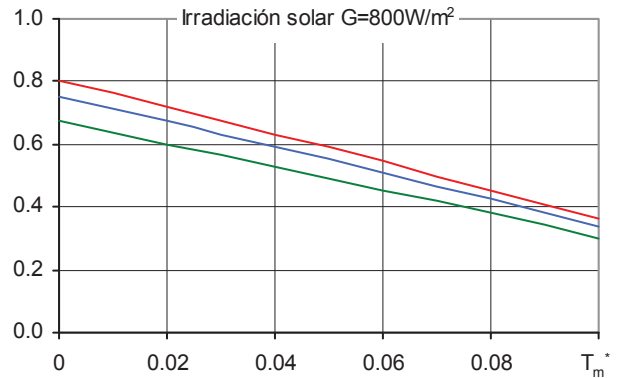


- 1 Perfil del soporte del vidrio
- 2 Caja
- 3 Aislamiento térmico lateral
- 4 Cubierta
- 5 Perfil del soporte del vidrio
- 6 Absorbedor
- 7 Aislamiento térmico

Rendimiento máximo W_{peak}



Eficiencia relativa η

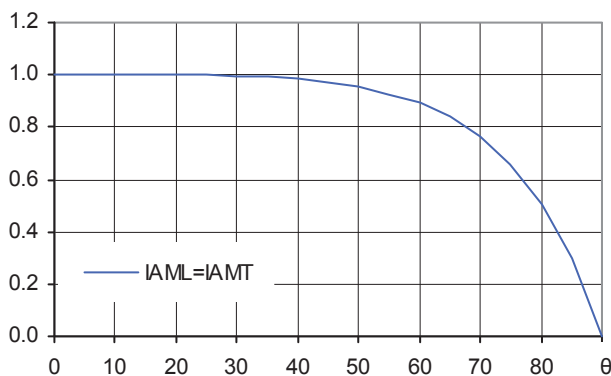


Rendimiento máximo W_{peak}	1733 W
Capacidad térmica*	6.5 kJ/K
Caudal usado para los ensayos	180 l/h
Fluido de transferencia de calor	Agua-Glicol 33.3%

Área referencia	Total	Apertura	Absorbedor
η_0	0.673	0.753	0.805
a_1 [WK ⁻¹ m ⁻²]	3.49	3.91	4.18
a_2 [WK ⁻² m ⁻²]	0.0027	0.0030	0.0032

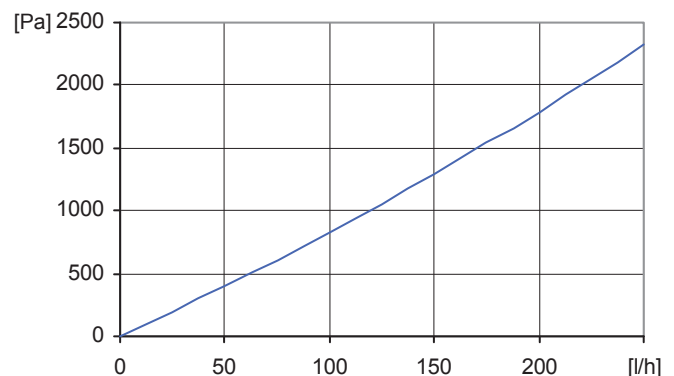
*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50°	0.95
K2, longitudinal IAM a 50°	0.95

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:
$\Delta p = 609$ Pa (T=20°C)

SPF Simulación de sistemas con Polysun

Breve descripción del sistema

Clima: Suiza central, orientación del captador: Sur,
agua fría 10°C, agua caliente sanitaria 50°

Agua caliente sanitaria: Fss* = 60%

Depósito 450 litros, Inclinación del captador 45°,
Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas),
Necesidad energética del sistema de referencia 4200 kWh/año

Precalentamiento del ACS: Fss* = 25%

2 depósitos: 1500 litros & 2500 litros, Inclinación del captador 30°,
Agua caliente sanitaria 10'000 l/día (200 personas),
Pérdida diaria de calor (circulación & depósito) 60 kWh,
Necesidad energética del sistema de referencia 191'700 kWh/año

Calefacción de espacio: Fss* = 25%

Almacenamiento combinado 1200 litros, Inclinación del captador 45°,
Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Edificio 200 m²,
Construcción intermedia fuerte, bien aislada,
Necesidades potencia de calentamiento 5.8 kW (temperatura exterior -8°C),
Necesidades energéticas de calentamiento 12140 kWh/año,
Necesidades energética del sistema referencia 16340 kWh/año

Superficie requerida**	Rendimiento solar**
Número de captadores	

5.32 m²	478 kWh/m²
2.3 captadores	

68.2 m²	705 kWh/m²
29.6 captadores	

16.8 m²	322 kWh/m²
7.3 captadores	

*) Fractional solar savings: Fracción de la energía final que, gracias al sistema solar, puede ser ahorrada comparada con un sistema de referencia.
**) La necesidad en superficie y el rendimiento solar son definidos en relación a la superficie de abertura.



Saunier Duval

THERMOSYSTEM CONDENS

**Calderas de alta eficiencia energética
para soluciones colectivas**



Salas de calderas modulares (Rooftop)

Las calderas THERMOSYSTEM CONDENS pueden suministrarse en un **conjunto de sala de calderas modular en un contenedor** para su ubicación en azotea.

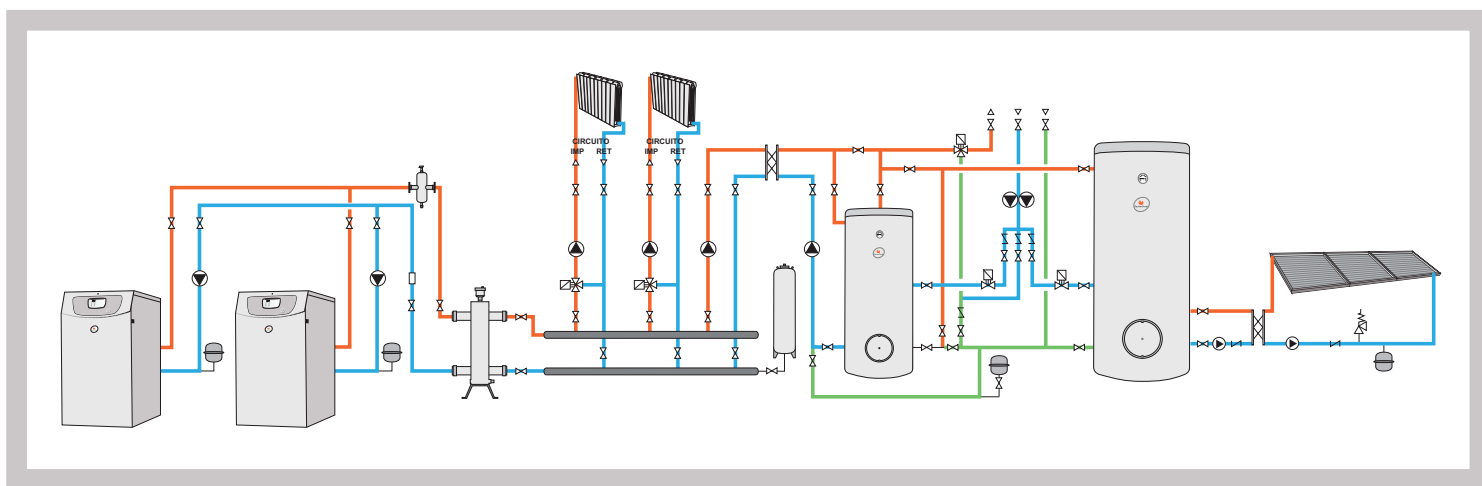
Con un sistema modular escalable, **esta alternativa constituye una opción idónea tanto en casos de reformas de instalaciones como en nueva edificación.**

El abanico de soluciones disponibles, configurables según requerimientos, cumple con todas las normativas vigentes, está realizado con la máxima calidad e incluye, además de los componentes hidráulicos, la instalación eléctrica, de gas y evacuación de humos.



Ejemplos de instalaciones colectivas con THERMOSYSTEM CONDENS

Esquema hidráulico de una instalación colectiva de calefacción y ACS con apoyo solar mediante una cascada de calderas THERMOSYSTEM CONDENS



En este ejemplo se muestra una **instalación de 2 calderas THERMOSYSTEM CONDENS** trabajando contra una **aguja de equilibrado hidráulico** con el objeto de **producir ACS y calefacción para dos zonas**. Ambos circuitos de calefacción (norte y sur) trabajan en función de la temperatura exterior con una curva de calefacción programada, variando la demanda de calor aguas arriba de su correspondiente válvula de tres vías cuando la temperatura exterior varía. La válvula del circuito de calefacción será el equipo encargado de ajustar la temperatura de impulsión hacia el circuito según las necesidades demandadas en función de la temperatura exterior.

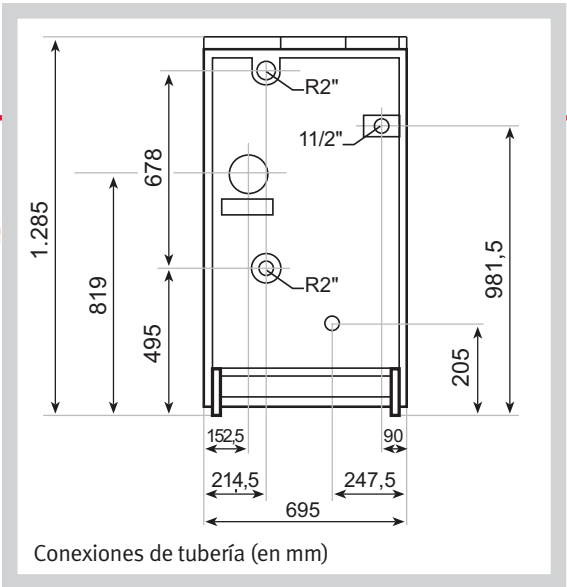
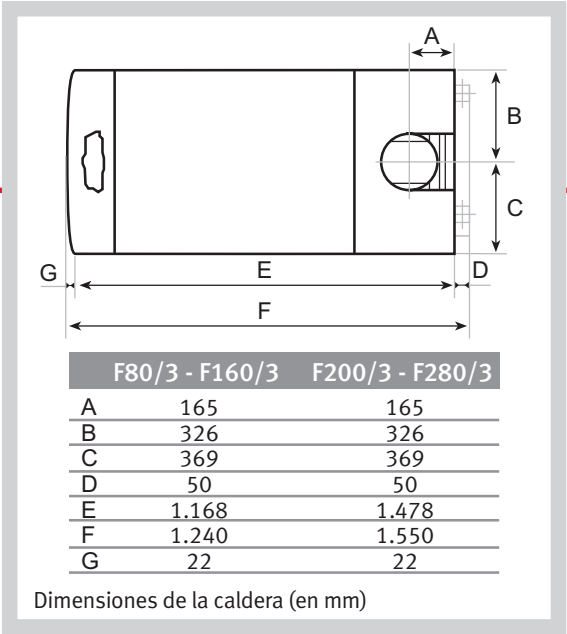
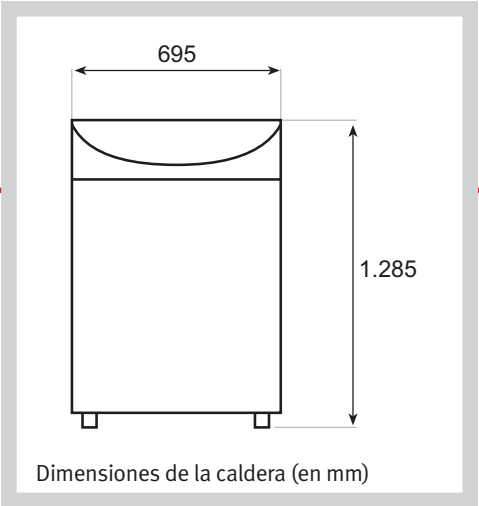
La preparación del ACS se realizará mediante un intercambiador de placas utilizado para calentar el depósito de ACS. Cuando la temperatura del depósito sea inferior a la temperatura fijada como consigna, la demanda de calderas aumentará y las bombas del circuito (de primario y secundario) se pondrán en marcha para cargar el depósito.

El ACS se precalienta mediante una instalación colectiva de energía solar que se almacena en forma de calor en un depósito central. El agua caliente sanitaria se extrae del tanque de energía solar. Si el nivel térmico de este agua es suficiente para ser utilizado directamente las calderas no se pondrán en marcha. Si es inferior las calderas complementarán la producción solar hasta el nivel térmico de confort produciéndose el correspondiente ahorro de energía.

Con las calderas de condensación THERMOSYSTEM CONDENS es posible realizar un aprovechamiento eficiente de la condensación incluso para la producción del agua caliente sanitaria. Aunque durante la producción del agua caliente sanitaria la temperatura de retorno a la caldera es superior a cuando la caldera trabaja en calefacción, el elevado rendimiento de la THERMOSYSTEM CONDENS nos asegura un rendimiento sensiblemente superior al conseguido mediante una caldera de baja temperatura.

Características Técnicas

Las reducidas dimensiones y peso de la THERMOSYSTEM CONDENS permiten una sencilla ubicación e instalación en salas de calderas de tamaño limitado (también es posible su ubicación en tejado).



Dimensiones del conducto de aire de admisión y evacuación de gas (Ø en mm)

Modelo	Conducto de evacuación de gas	Tubo de aire de admisión
F80/3	150	130
F120/3	150	130
F160/3	150	130
F200/3	200	130
F240/3	200	130
F280/3	200	130



INSTAL CLUB

902 377 477
instalclub@saunierduval.es

Si es Vd. instalador y no conoce aún INSTAL CLUB, solicite información y comience cuanto antes a disfrutar de las múltiples ventajas y servicios que le ofrece el Club Profesional de instaladores de Saunier Duval.

Servicios comerciales:

Albacete	967 26 00 37
Alicante	96 517 42 46
Almería	95 468 02 88
Asturias	98 531 12 73
Ávila	923 23 26 41
Barcelona	93 264 19 40
Badajoz	924 31 08 02
Bilbao	94 489 62 00
Burgos	947 29 10 92
Cáceres	924 31 08 02
Cádiz	95 468 02 88
Castellón	96 316 25 60
Ciudad Real	926 23 23 06
Córdoba	95 468 02 88
A Coruña	981 65 46 65
Cuenca	969 21 20 20
Girona	972 40 55 21
Granada	958 46 83 96
Guadalajara	91 754 01 50
Huesca	974 22 39 37
Jaén	95 468 02 88
Las Palmas	928 18 02 50
León	987 26 15 42
Logroño	941 23 33 28
Lugo	981 65 46 65
Lleida	973 22 45 44
Madrid	91 754 01 50
Málaga	95 468 02 88
Manresa	93 873 09 78
Murcia	968 20 29 67
P. Mallorca	971 75 75 28
Pamplona	948 26 25 86
Palencia	983 47 55 00
Salamanca	923 23 26 41
Santander	942 33 87 32
San Sebastián	943 21 65 64
Segovia	983 47 55 00
Sevilla	95 468 02 88
Tarragona	977 24 51 71
Toledo	926 23 23 06
Valencia	96 316 25 60
Valladolid	983 47 55 00
Vic	93 886 00 40
Vigo	986 20 25 12
Vitoria	945 22 61 08
Zamora	923 23 26 41
Zaragoza	976 38 62 15

Atención al Cliente:

902 45 55 65

Asistencia Técnica:

902 12 22 02

THERMOSYSTEM CONDENS

F80/3 F120/3 F160/3 F200/3 F240/3 F280/3

Características generales			Unidad					
Potencia nominal	80/60°C	kW	13,6-78,2	21,3-113,4	26,2-156,5	43,1-196,8	47,0-236,2	51,0-275,5
	60/40°C	kW	14,1-80,4	22,1-116,5	27,1-160,8	44,2-201,0	48,2-241,2	52,3-281,4
	40/30°C	kW	14,7-84,1	23,1-121,8	28,4-168,2	46,2-210,2	50,4-252,2	54,7-294,3
Temperatura de gases de evacuación		°C	60-70					
Presión máx. disponible aspiración-expulsión		Pa	200					
Clase NOx		-	5					
Rendimiento nominal (fijo)	80/60	%	97,8			98,4		
	60/40	%	100,5					
	50/30	%	103,0					
	40/30	%	105,1					
Rendimiento homologado (referido al ajuste en la potencia calorífica nominal) (DIN 4702.98)	75/60	%	106,0					
	40/30	%	108,0					
Rendimiento del 30% (DIN EN 483)		%	108,0					
Presión de funcionamiento máxima		bar	6					
Volumen de agua en caldera		L	5,74	8,07	10,4	12,73	15,05	17,37
Caudal nominal de agua en circulación	Δt=20K	m³/h	3,44	4,99	6,88	8,60	10,33	12,05
Pérdida de carga	Δt=20K	mbar	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0	105,0
Cantidad de agua de condensación	40/30	L/h	13,0	20,0	27,0	34,0	40,0	47,0
Características eléctricas								
Tensión nominal		W/Hz	230/50					
Absorción de potencia eléctrica máxima		W	260	260	320	320	320	320
Tipo de protección		-	IP 20					
Dimensiones y pesos								
Altura		mm	1.285					
Anchura		mm	695					
Profundidad		mm	1.240			1.550		
Peso de montaje		kg	200	220	235	275	295	310
Peso operacional		kg	210	235	255	300	320	340
Conexión de calefacción			R2"					
Conexión evacuación condensados Ø		mm	21					
Conexión de gas Ø		-	R 1 1/2"					
Conexión chimeneas expulsión/admisión Ø		mm	150/130			200/130		
Otros								
Tipos de instalación autorizados		-	B23, B23P, C33, C43, C53, C83, C93					

Saunier Duval se reserva el derecho de introducir modificaciones sin previo aviso. 02/10



TD15-03

ALFA LAVAL

INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS MODELO M6

Descripción

El intercambiador de calor de placas consta de un paquete de placas metálicas de relieve corrugado con orificios para la circulación de los dos fluidos entre los que se va a producir transferencia térmica.

El paquete de placas se sitúa entre una placa (frame) bastidor y una placa de presión que, mediante unos pernos de apriete, comprimen el citado conjunto. Cada placa lleva una junta periférica (empaquetaduras) que sella los canales y dirige el fluido alternativamente entre placas. El número de placas se determina en función de los caudales, propiedades físicas de los fluidos, pérdidas de carga admisibles y programa de temperaturas. El corrugado de las placas facilita la formación de turbulencias y soporta la presión diferencial que se produce.

La placa de presión y el resto de las placas se encuentran suspendidas de una barra soporte, situada superiormente, y centrados por una barra guía inferior. Ambas barras se fijan a una columna soporte.

Las conexiones se sitúan en la placa de bastidor, o si alguno de los fluidos realiza más de un paso dentro de la unidad, se sitúan en las placas de bastidor y de presión.

Condiciones de trabajo

Capacidades típicas : Flujo de 15 kg/s, dependiendo del tipo de fluidos, pérdidas de carga y programa de temperaturas

Potencia entregada por el vapor al agua : 300 kW - 800kW

Presión máxima de trabajo: 1Mpa (bastidores tipo FM)
1,6 Mpa (bastidores tipo FG)
2,5 Mpa (bastidores FD)
300 psig (bastidores FSASME)

Máxima superficie de intercambio térmico: 38 m²

Materiales

1	Bastidor	Acero al carbono
2	Placa	Acero inoxidable AISI 316, Ti
3	Empaquetadura	M6: NBR EPDM M6M: NBR, EPDM, G-FKM, HNBR, Neopreno, AL -EPDM, CSM
4	Conectores	Acero inoxidable, acero al carbono, goma

Conexiones

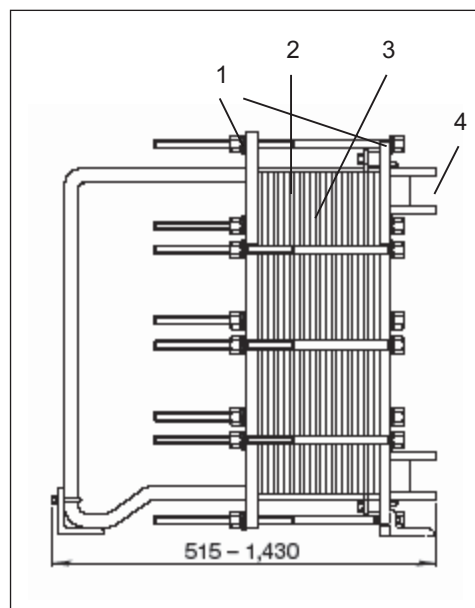
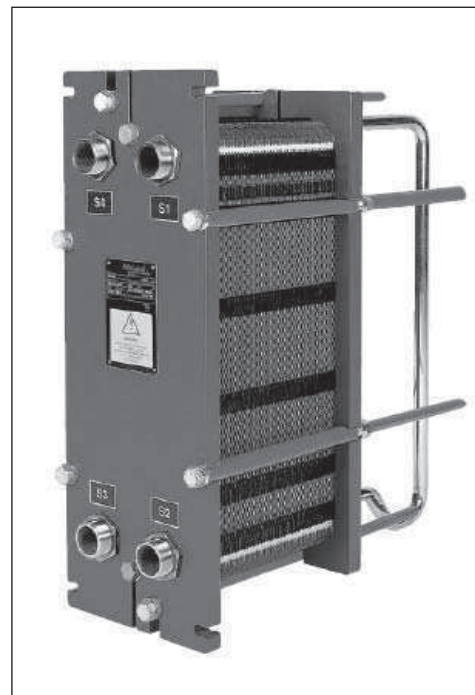
Terminación en tubo
Rosca directa ISO G2 (no para bastidor FD)
Soldado directo

Con Bridas

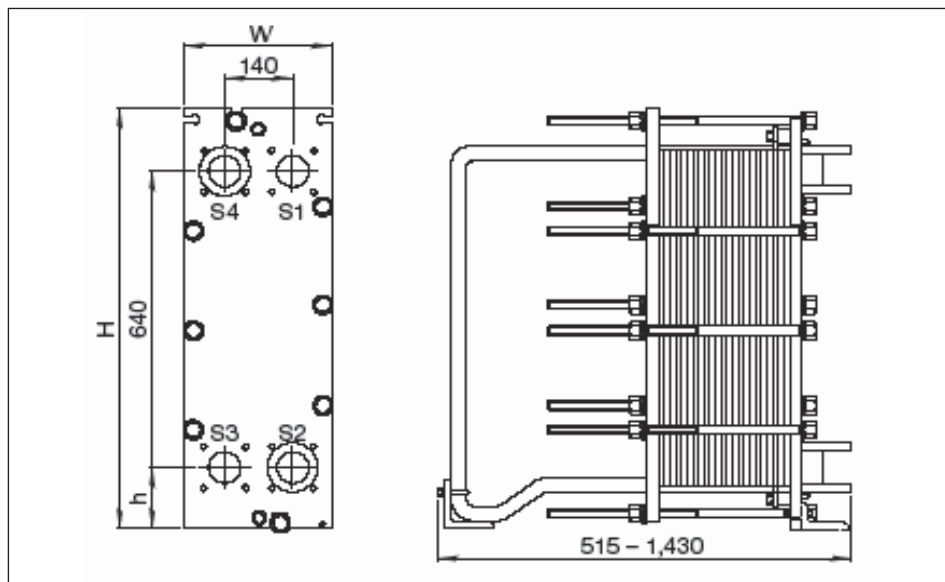
FM: Tamaño 60 mm DIN2501, PN10 o ANSI150

FG: Tamaño 60 mm DIN2501, PN16 o ANSI150

FD: Tamaño 60 mm DIN2501, PN25 o ANSI150/ANSI300



Dimensiones en m:

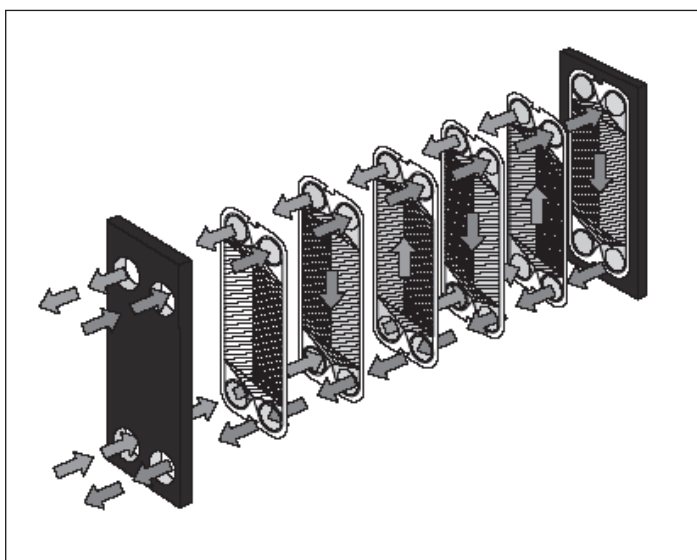



	H	W	h
M6- FML/FGL	920	320	140
M6-FM	920	320	140
M6-FG	920	320	140
M6-FD	940	330	150

Principio de funcionamiento

Los fluidos se introducen por los orificios de conexión y circulan por los canales que se forman entre placas, convenientemente separados por las juntas. Un fluido es conducido a un segundo paso, mientras el otro circula por el canal que forman estos dos primeros. Los dos fluidos se encuentran así separados, sin poderse mezclar, por una delgada placa a través de la cual se produce la transferencia de calor.

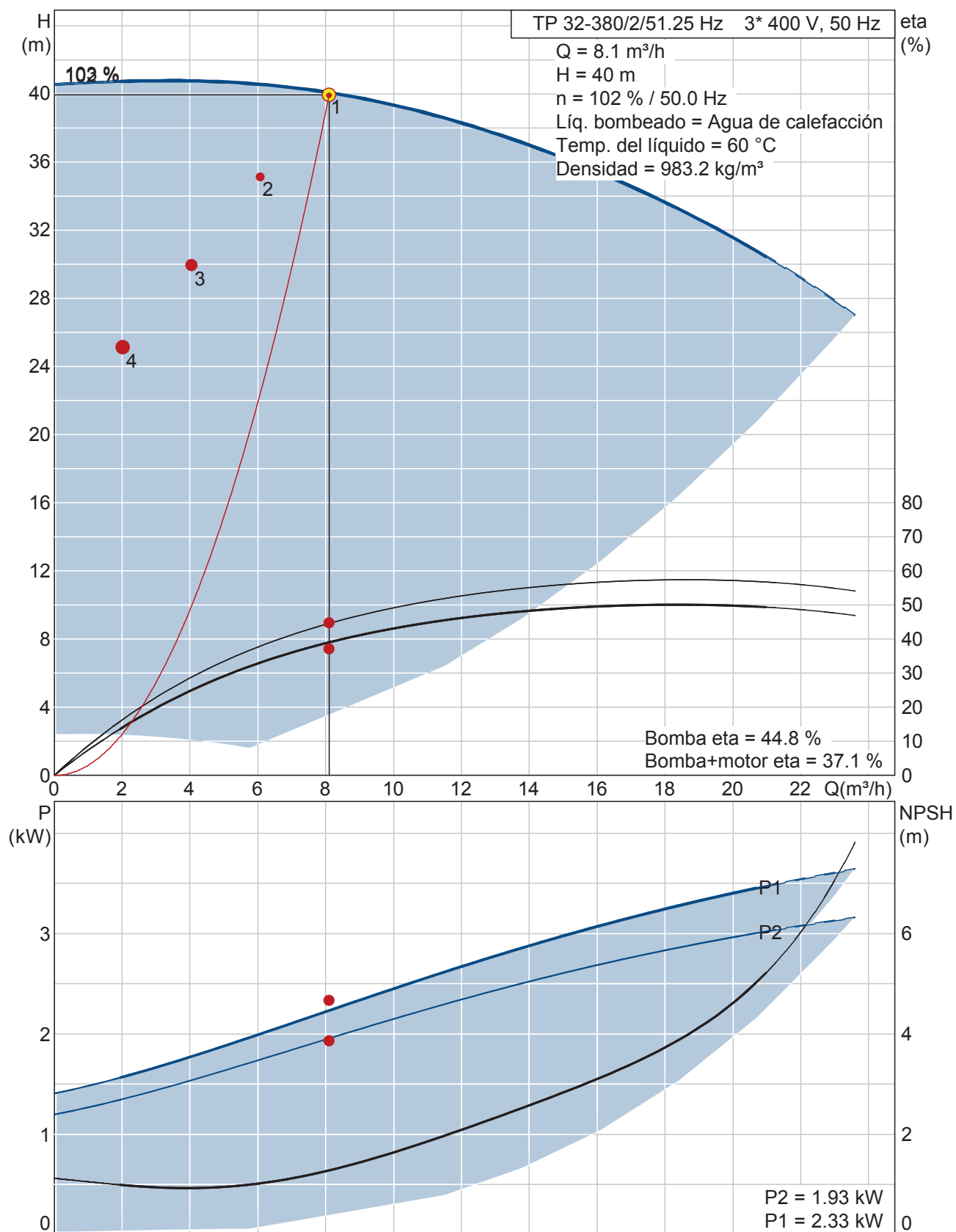
Las corrugaciones forman los correspondientes canales entre placas, cuyos bordes de apoyo presionan unas sobre las otras. Los fluidos circulan con altas turbulencias produciendo un gran rendimiento en la transferencia de calor




Posición	Contar	Descripción	Precio unit
	1	<p>TP 32-380/2 A-F-B-BAQE</p>  <p>Adverta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 96086682</p> <p>Bomba sencilla centrífuga monocelular en línea:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anillos de desgaste de bronce - Tratamiento por cataforesis - Acoplamiento compacto - Sistema de extracción para un mantenimiento sencillo - Hidráulica optimizada - Diseño en línea con bocas de aspiración descarga opuestas que permite su montaje en tuberías o en una cimentación de hormigón. - Cierre mecánico resistente a la corrosión y libre de mantenimiento. <p>El motor es un motor AC 3-fásico.</p> <p>Líquido: Rango de temperatura del líquido: 0 .. 120 °C Temp. líquido: 60 °C Densidad: 983.2 kg/m³</p> <p>Técnico: Velocidad para datos de bomba: 2910 rpm Caudal real calculado: 8.1 m³/h Altura resultante de la bomba: 40 m Diámetro real del impulsor: 169 mm Cierre: BAQE</p> <p>Materiales: Cuerpo hidráulico: Fundición EN-JL1040 ASTM A48-40 B Impulsor: Bronce DIN W.-Nr. 2.1096.01 ASTM B584-C83600</p> <p>Instalación: Temperatura ambiental máxima: 60 °C Presión de trabajo máxima: 16 bar Tipo de brida: DIN Diámetro de conexiones: DN 32 Presión: PN 16 Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 340 mm</p>	Precio bajo pedido

Posición	Contar	Descripción	Precio unit
		Tamaño de la brida del motor: FF215 Datos eléctricos: Tipo de motor: 100LC IE Efficiency class: IE3 Número de polos: 2 Potencia nominal - P2: 3 kW Potencia (P2) requerida por la bomba: 3 kW Frecuencia de alimentación: 50 Hz Tensión nominal: 3 x 220-240 D/380-415 Y V Corriente nominal: 11,0/6,30 A Intensidad de arranque: 840-920 % Cos phi - Factor de potencia: 0,87-0,82 Velocidad nominal: 2900-2920 rpm IE efficiency: IE3 87,1% Rendimiento del motor a carga total: 87,1 % Rendimiento del motor a 3/4 de carga: 88,0-87,0 % Rendimiento del motor a 1/2 carga: 87,7-85,4 % Grado de protección (IEC 34-5): 55 (Protect. water jets/dust) Clase de aislamiento (IEC 85): F Otros: Label: Grundfos Blueflux Peso neto: 58 kg Peso bruto: 66 kg Volumen: 0.18 m3	

96086682 TP 32-380/2 50 Hz

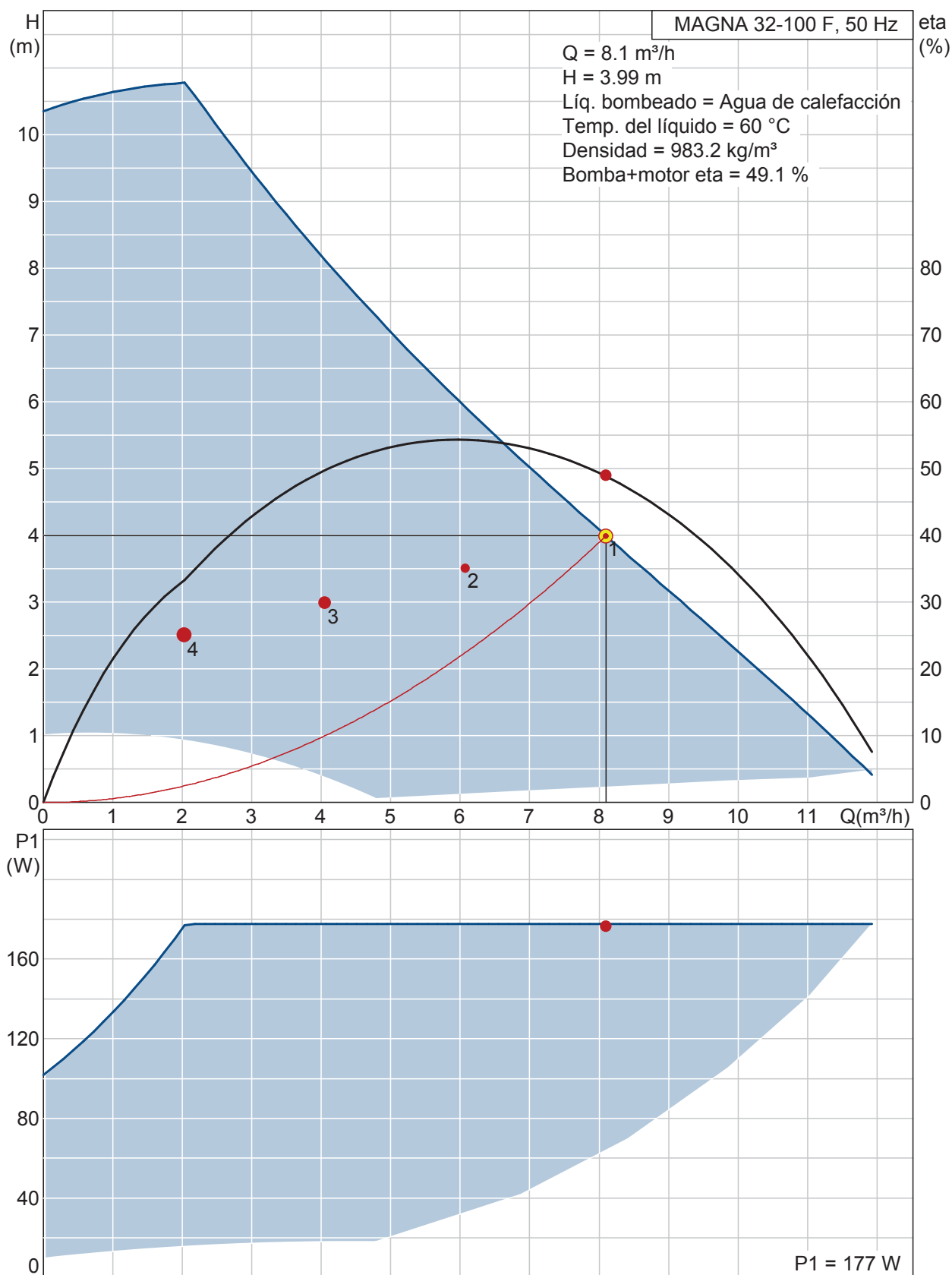




Posición	Contar	Descripción	Precio unit
	1	<p>MAGNA 32-100 F</p>  <p>Adverta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p>Código: 96281018</p> <p>La bomba es de tipo rotor encapsulado, es decir que la bomba y el motor constituyen una unidad integral sin cierre mecánico y con solamente dos juntas como cierre. El líquido bombeado lubrica los cojinetes. Para evitar problemas de reciclaje, se ha intentado utilizar la menor variedad de materiales posible. Una bomba sin requisitos de mantenimiento y con un Coste de Ciclo Vital extremadamente bajo.</p> <p>Características de la bomba:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Motor conmutado electrónicamente (ECM) con rotor de imán permanente * Controles de la bomba integrados * Cojinetes radiales de cerámica * Cojinete axial de carbón * Rotor encapsulado, disco de presión encamisado del rotor de acero inoxidable. * Carcasa del estator de aleación de aluminio * Cuerpo de la bomba Fundición * Protección contra sobrecarga <p>La bomba es monofásica. El motor no necesita protección externa.</p> <p>La Grundfos MAGNA - incluida en las bombas Serie 2000 - se caracteriza por el control automático de la presión diferencial gracias a la adaptación del rendimiento de la bomba a los requisitos de calor del momento sin necesidad de conectar ningún componente externo. 4 modos de control están disponibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> * AUTOADAPT (auto-regulación desde "una curva de presión proporcional a otra") para optimizar el confort y reducir el consumo energético al mínimo. * Presión proporcional * Presión constante * Curva constante (dispo. solamente a través de 	Precio bajo pedido

Impresión del WinCAPS Grundfos [2012.03.035]

96281018 MAGNA 32-100 F 50 Hz



01 PURGADOR DE BOYA INOXIDABLE PURG-INOX 2000

VOSS El Purgador de
Máxima Calidad... 
MADE IN GERMANY

Purgador automático de boya construido completamente en acero INOX. AISI 316.

Aconsejable para instalaciones en condiciones extremas de temperatura y presión, en las que se requiera una elevada resistencia del purgador a las altas temperaturas y a la oxidación.

Especialmente indicado para instalaciones de energía solar, centrales térmicas, industria en general, depuradoras de agua, bombas, etc.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo: INOX. AISI 316.
- Boya: libre en INOX. AISI 316.
- Junta: EPDM.

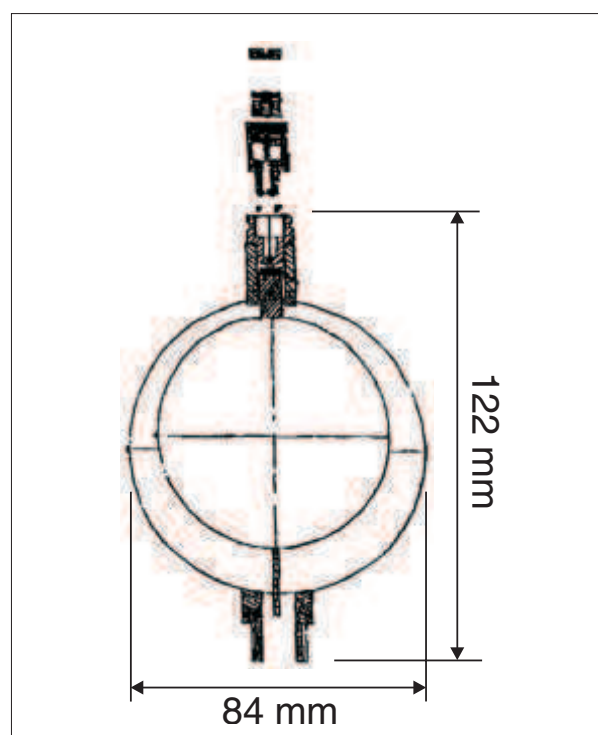
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Rosca: 3/8 M.
- Presión máxima: 16 bar.
- Temperatura máxima: 150°C.
- Capacidad de purga:

Bar	2	3	4	5	6
lts/min	30	45	60	80	90



Código: AC 01 023. Rosca 3/8" M



**Válido para
Energía Solar**

05 VÁLVULA RETENCIÓN DOBLE CLAPETA INOX-CHECK



INOX-CHECK DOUBLE DISC SWING CHECK VALVE

CONSTRUCCIÓN

MATERIALS

- Cuerpo: **Fundición gris GG-25**
Body: *Grey cast iron GG-25*
- Clapeta: **Acero inox. AISI-304**
Disc: *Stainless steel AISI-304*
- Eje: **Acero inox.**
Stem: *Stainless steel*
- Asiento: **EPDM**
Seat: *EPDM*
- Muelle: **Acero inox.**
Spring: *Stainless steel*



CONDICIONES DE TRABAJO

OPERATING CONDITIONS

- Presión prueba: **24 bar**
Testing pressure: *24 bar*
- Presión de trabajo: **16 bar**
Operating pressure: *16 bar*
- Temperatura máx.: **100°C**
Max. temperature: *100°C*

MONTAJE

ASSEMBLY

- Tipo WAFER entre bridas DIN2502 (PN-16)
WAFFER type between flanges DIN (PN-16)

APLICACIONES

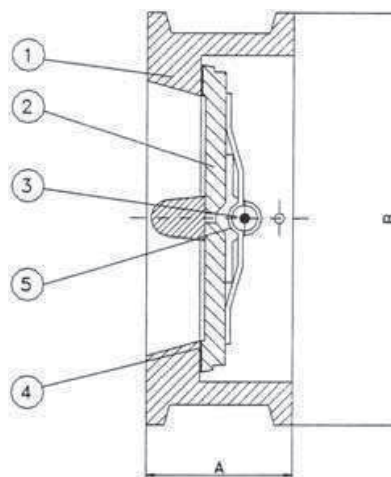
APPLICATIONS

- Calefacción, refrigeración, tratamiento de aguas, industria naval, etc.
Heating, cooling, water treatment, shipping industry, etc.

DIMENSIONES (mm) Y PESO (kg)

DIMENSIONS AND WEIGHT

Código Code	DN	A (mm)	B (mm)	Peso (Kg) Weight
AA 05 052	40	43	94	1,20
AA 05 053	50	43	109	1,50
AA 05 054	65	46	129	2,40
AA 05 055	80	64	144	3,60
AA 05 056	100	64	164	5,70
AA 05 057	125	70	194	7,30
AA 05 058	150	76	220	9,00
AA 05 059	200	89	275	17,00
AA 05 060	250	114	337	28,30
AA 05 070	300	114	387	32,90



1. Cuerpo
2. Clapeta
3. Eje
4. Asiento
5. Muelle

1. Body
2. Disc
3. Stem
4. Seat
5. Spring

02 VÁLVULAS DE ASIENTO DE BRONCE PN-16

JENKINS (de interrupción) y ASIENTO CÓNICO (de regulación)

CONSTRUCCIÓN

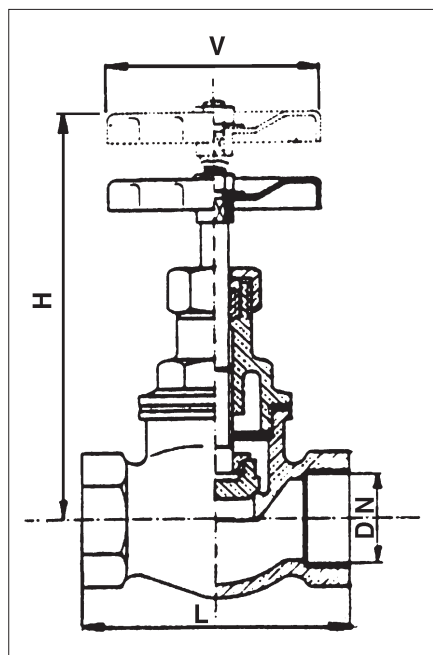
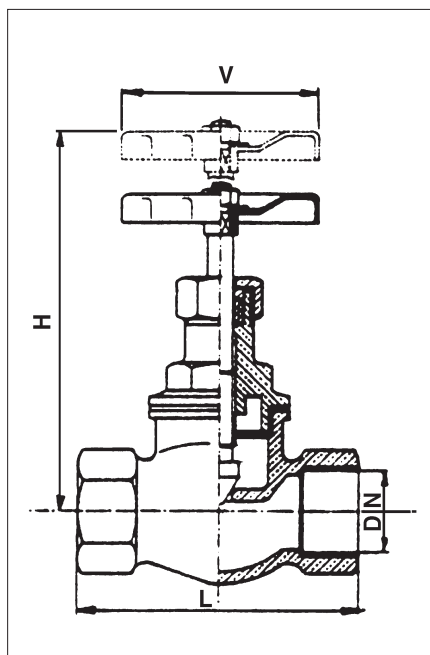
- Cuerpo: Bronce
- Bonete: Latón
- Eje: Latón
- Volante: Aluminio
- Cierre:
 - Jenkins: Mediante anillo de teflón
 - Asiento cónico: Mediante un cono de latón afinado
- Conexiones: Roscas BSP

CONDICIONES DE TRABAJO

- Presión nominal: 16 bar
- Temperatura máxima: 180 °C

APLICACIONES

- Agua caliente y fría, vapor, aire comprimido, freón, aceites minerales y vegetales, etc...


JENKINS

ASIENTO CÓNICO

DIMENSIONES EN mm

DN	L	H	V	KG
1/4	45	75	50	0,100
3/8	45	75	50	0,150
1/2	50	85	50	0,250
3/4	60	95	50	0,370
1"	70	105	60	0,520
1"-1/4	85	118	70	0,870
1"-1/2	90	130	80	1,150
2"	110	145	80	1,900

03 VÁLVULA DE BOLA MANDO MARIPOSA

BALL VALVE WITH HANDLE



CONSTRUCCIÓN / MATERIALS

- Cuerpo: **Latón MS58 cromado**
Body: *Chrome-plated brass MS58*
- Bola: **Latón cromado pulido**
Ball: *Polished chrome-plated brass*
- Anillos de cierre: **Teflón (PTFE)**
Seats: *Teflon (PTFE)*
- Eje: **Latón estampado**
Stem: *Patterned brass*
- Palanca/Handle: **Aluminio pintado/Coated aluminium**

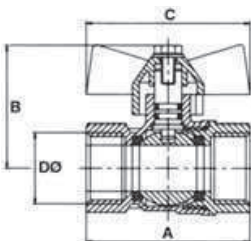
CONDICIONES DE TRABAJO/OPERATING CONDITIONS

- Temperatura mín./Min. temp.: **-10°C**
- Temperatura máx./Max. temp.: **130°C**
- Presión máxima./Max. pressure: **25 Bar**

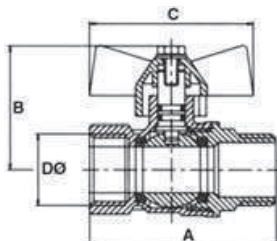
APLICACIONES / APPLICATIONS

- Agua caliente y fría, aire comprimido, gasolina, nafta, gasóleo, keroseno, aceites, etc...
Warm and cold water, compressed air, petrol, naphta, diesel oil, kerosene, oils, etc.

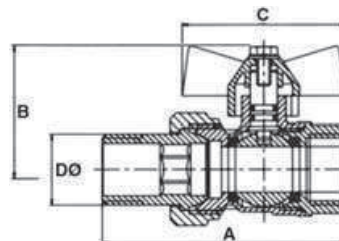
HEMBRA-HEMBRA FEMALE-FEMALE



MACHO-HEMBRA MALE-FEMALE



MACHO-HEMBRA RACOR MALE-FEMALE W/UNION



DIMENSIONES / DIMENSIONS

Rosca Thread	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
A	41,50	41,50	48,50	56,00	66,50
B	35,00	35,00	39,00	42,00	49,00
C	44,00	44,00	53,00	53,00	59,00
DØ	9,00	9,70	14,50	19,00	24,00
Peso Weight	0,110	0,120	0,152	0,230	0,360
Uds. caja Units box	12	12	10	10	5
Código Code	AA03185	AA03186	AA03187	AA03188	AA03189

Rosca Thread	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
A	42,00	42,00	48,50	57,50	67,00
B	38,00	38,00	39,00	42,00	49,50
C	49,00	49,00	53,00	53,00	59,00
DØ	9,00	9,70	14,50	19,00	24,00
Peso Weight	0,110	0,120	0,150	0,225	0,375
Uds. caja Units box	12	12	10	10	5
Código Code	AA03191	AA03192	AA03193	AA03194	AA03195

Rosca Thread	1/2"	3/4"	1"
A	75,00	81,00	89,00
B	44,00	47,50	56,00
C	48,00	48,00	60,50
DØ	14,50	19,00	24,00
Peso Weight	0,242	0,345	0,550
Uds. caja Units box	10	10	5
Código Code	AA 03 201	AA 03 202	AA 03 203

11 VÁLVULA DE SEGURIDAD REGULABLE

ADJUSTABLE SAFETY VALVE

- Válvulas de seguridad de asiento plano y muelle directo
Flat seat safety valves with direct spring
- La presión de disparo se regula a través del tornillo de regulación, quedando fijada mediante la contratuerca de apriete
Discharge pressure is controlled by a regulating screw and fixed through jam nut

CONSTRUCCIÓN

MATERIALS

- Cuerpo:
Body: **Latón OT-58 - UNI 2012**
Brass OT-58 - UNI 2012
- Campana:
Bell: **Latón OT-58 - UNI 2012**
Brass OT-58 - UNI 2012
- Junta de cierre:
Seat: **PTFE (teflón)**
Teflon (PTFE)
- Muelle:
Spring: **Acero tratado**
Heat-treated steel
- Tornillo de regulación y contratuerca:
Regulating screw and jam nut: **Latón**
Brass

CONDICIONES DE TRABAJO

OPERATING CONDITIONS

- Presión nominal:
Flow rating pressure: **16 bar**
16 bar
- Campo de regulación:
Regulation range: **2 a 8 bar**
2 to 8 bar
- Temperatura máxima:
Maximum temperature: **130° C**
130° C

APLICACIONES

APPLICATIONS

- Agua, aire y fluidos no agresivos
Water, air and non-aggressive fluids

DIMENSIONES (mm)

DIMENSIONS

Código Code	Rosca (DN) Thread	H	L	Ø Orificio Opening Ø
AA 11 121	3/8"	116	45	10,00
AA 11 122	1/2"	126	45	13,00
AA 11 123	3/4"	145	56	19,00
AA 11 124	1"	157	63	25,00
AA 11 125	1 1/4"	189	78	31,50
AA 11 126	1 1/2"	210	87	38,00
AA 11 127	2"	224	92	48,30

